

Die Beiträge

Lichterscheinungen

meteorologischen Optik

der

Atmosphäre

darstellung und erläuterung
in zwanglosen Heften

von

H. Clausius.

Leipzig, August 1850.

Mit sechs lithographirten Tafeln.

Leipzig, 1850.

Verlag von E. B. Schwickert.

Die
Lichterscheinungen
der
Atmosphäre

dargestellt und erläutert

von

R. Clausius.

Mit sechs lithographirten Tafeln.

Leipzig, 1850.

Verlag von E. B. Schwickert.

B e i t r ä g e
zur
meteorologischen Optik
und
zu verwandten Wissenschaften.

In zwanglosen Heften

herausgegeben

von

Johann August Grunert,

Doctor der Philosophie und ordentlichem Professor der Mathematik an der Universität zu Greifswald, Ehrenmitgliede der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Erfurt, der Gesellschaft zur Verbreitung der mathematischen Wissenschaften zu Hamburg und der ökonomischen Gesellschaft zu Leipzig, auswärtigem Mitgliede der Königlich Böhmisches Gesellschaft der Wissenschaften zu Prag, correspondirendem Mitgliede der Königlich Baierischen Akademie der Wissenschaften zu München, der Königlich Schwedischen Societät der Wissenschaften zu Upsala und der Kaiserlich Oesterreichischen Akademie der Wissenschaften zu Wien, ordentlichem Mitgliede der naturforschenden Gesellschaften zu Danzig, Halle, Marburg und Leipzig.

Erster Theil. Viertes Heft.

Mit sechs lithographirten Tafeln.

Leipzig, 1850.

Verlag von E. B. Schwickert.

Beiträge

zum

meteorologischen Optik

und

zu verwandten Wissenschaften.

In zwanglosen Heften

herausgegeben

von

Johann August Gruner.

Doctor der Philosophie und ordentlichem Professor der Mathematik an der Universität zu
Göttingen, Ehrenmitglied der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin,
der Gesellschaft zur Verbreitung der mathematischen Wissenschaften zu Hamburg und der
ökonomischen Gesellschaft zu Leipzig, auswärtigen Mitgliede der Königlich Preussischen Ge-
sellschaft der Wissenschaften zu Prag, correspondirendem Mitgliede der Königlich Preussischen
Akademie der Wissenschaften zu München, der Königlich Schwedischen Societät der Wissen-
schaften zu Upsala und der Kaiserlich Oesterreichischen Akademie der Wissenschaften zu Wien,
ordentlichem Mitgliede der naturforschenden Gesellschaften zu Braunschweig, Halle, Nürnberg
und Leipzig.

Erster Theil. Viertes Heft.

Mit sechs lithographirten Tafeln.

Leipzig, 1850.

Verlag von E. B. Schwickert.

VIII.

Uebersichtliche Darstellung der in das Gebiet der meteorologischen Optik gehörenden Erscheinungen.

Von

Herrn Doctor R. Clausius,

zu Berlin.

(Zu diesem Aufsätze gehören Taf. VII. bis Taf. XI.)

Die verschiedenen Vorgänge in unserer Atmosphäre, welche durch ihren gebieterischen Einfluss auf das gesammte organische Leben von jeher die Aufmerksamkeit der Menschen besonders auf sich ziehen mussten, sind dessenungeachtet noch wenig ergründet, und es ist eine merkwürdige Thatsache in der Geschichte der menschlichen Erkenntniss, dass, während der Forscher in die innersten Geheimnisse der Natur eindringt und ganz neue Erscheinungen und Kräfte entdeckt, von deren Vorhandensein früher kein Mensch eine Ahnung hatte, während er diese in ihren Wirkungen zu verfolgen und ihre Gesetze zu entwickeln vermag, dennoch so gewöhnliche und so grossartige Ausbrüche von Naturkräften, wie das Gewitter und der Hagel, ihm noch voller Dunkelheiten oder ganz unerklärlich geblieben sind; fast als hätte die Vorsehung sie absichtlich seinen forschenden Blicken verschlossen, um ihn vor Hochmuth über das schon errungene Wissen zu bewahren und zu immer neuen Bemühungen anzuregen.

Dasselbe gilt auch von den vielen Lichterscheinungen, welche die Natur uns darbietet. An einigen hat die Wissenschaft allerdings schon glänzende Triumphe gefeiert, bei den meisten aber ist die Theorie theils noch nicht vollständig genug ausgeführt, theils noch in ihren Grundlagen unsicher und theils sogar noch ganz in den ersten rohen Anfängen begriffen.

Unter solchen Umständen bietet natürlich jede dieser Erscheinungen für sich ein weites Feld zu Betrachtungen dar, und es wer-

den bei jeder noch bedeutende Untersuchungen zu den schon vorhandenen hinzukommen müssen, um sie allmählig der vollkommenen Aufklärung entgegen zu führen. Je zahlreicher und ausgedehnter aber diese Arbeiten werden und je unabhängiger von einander sie dastehen, indem jede uns nur in das Innere einer einzelnen Erscheinung einführt und uns mit den Mängeln und Schwierigkeiten ihrer Theorie beschäftigt, desto mehr fühlt man das Bedürfniss, sich auch einen klaren Ueberblick über das ganze Gebiet zu erhalten, um jene einzelnen Arbeiten ihrer Stellung und Wichtigkeit nach besser beurtheilen und die Fortschritte unserer Erkenntniss nach allen Richtungen hin gemeinsam verfolgen zu können.

Ich glaube daher, dass ein Aufsatz, der es zum Zwecke hat, alle der meteorologischen Optik angehörigen Erscheinungen in ihren Grundzügen darzustellen und ihre Erklärungen so weit zu entwickeln, als es ohne höhere mathematische Betrachtungen angeht, in dieser Zeitschrift, die der Förderung jener Wissenschaft gewidmet ist, eine geeignete Stelle finden wird.

Gestalt des Himmels.

Wenn man bei klarem Wetter auf freiem Felde steht, so findet der aufwärts gerichtete Blick nirgends eine Grenze, sondern dringt durch die Atmosphäre hindurch frei in den unendlichen Weltenraum. Die beschränkte Vorstellung kann jedoch diese Unendlichkeit nicht fassen, sondern glaubt sich unter einem blauen Gewölbe zu befinden. Welche Gestalt schreibt sie nun aber diesem subjectiven Gebilde zu? Man nimmt häufig im Voraus an, es sei eine Halbkugel, in deren Mittelpunkt sich der Beobachter befinde, bei näherer Betrachtung überzeugt man sich jedoch bald, dass es viel flacher zu sein scheint. Diese Bemerkung, welche schon früher zuweilen gemacht war, wurde im vorigen Jahrhunderte von Smith durch ein sehr einfaches Verfahren bestätigt und auf bestimmte Maassverhältnisse gebracht. Er dachte sich nämlich einen vom Zenith nach dem Horizonte herabgehenden Bogen, halbirte diesen nach dem Augenmaasse und untersuchte dann, welchen Winkel die von seinem Auge nach dem Halbirungspunkte gezogene Gerade mit der Horizontalebene bildete. Wäre der Himmel eine Halbkugel, also jener Bogen ein Viertelkreis gewesen, so hätte der Winkel gleich 45° sein müssen. In der That aber ergab er sich nur zu etwa 23° . Um nun aus dieser Zahl bestimmte Schlüsse zu ziehen, muss man vorher noch eine allgemeine

Annahme über die Gestalt des Himmels machen. Nach der Voraussetzung von Smith soll er ein Kugelsegment bilden. In diesem Falle würde er aber an den äussersten Grenzen, wo er den Horizont berührt, schräge auf der Erdoberfläche zu stehen scheinen, während ich glaube, dass unsere Vorstellung ihm daselbst eine senkrechte Richtung zuschreibt. Demnach liegt es wohl näher, das Gewölbe, wie es auch Kaemtz*) thut, als die Hälfte eines abgeplatteten Sphäroids zu betrachten, und wenn man von dieser Ansicht ausgeht, so lässt sich mittelst der obigen Zahl der Grad der Abplattung bestimmen. Er ergiebt sich dabei als sehr bedeutend, nämlich so, dass uns ein Punkt des Horizontes über $3\frac{1}{2}$ mal soweit von unserem Standpunkte entfernt zu sein scheint, als das Zenith.

Ehe wir zur Erklärung dieser merkwürdigen Thatsache übergehen, müssen wir noch eine hierher gehörige bekannte optische Täuschung erwähnen, dass uns nämlich die Sonne und der Mond bei ihrem Auf- und Untergange viel grösser vorkommen, als wenn sie hoch am Himmel stehen. Es liegt nämlich in unserer Vorstellung, beide als Scheiben zu betrachten, welche sich an der Fläche des Himmels gewölbes bewegen. Hätte nun eine solche Scheibe eine unveränderliche Grösse, so würde sie am Horizonte, wo sie am weitesten vom Beobachter entfernt ist, unter einem kleineren Sehinkel, als bei höheren Stellungen, erscheinen. Da aber in der Wirklichkeit der Sehinkel immer derselbe ist, so ziehen wir daraus unwillkürlich den Schluss, die Scheibe sei zur Zeit, wo sie im Horizonte steht, grösser als sonst.

Die Erklärung der scheinbaren Gestalt des Himmels sucht Kaemtz**) hauptsächlich in seiner Färbung. Indem er nämlich in der Nähe des Horizontes nicht das klare Blau wie im Zenith, sondern ein mehr weissliches Ansehen zeige, so halte man ihn dort für weiter entfernt. Es möchte indessen noch fraglich sein, ob die grössere Helle beim Horizonte wirklich die Vorstellung einer grössern Entfernung erwecken müsse, und ausserdem ist auch die Voraussetzung selbst nicht mehr erfüllt, sobald der Himmel trübe ist, wodurch sich doch seine scheinbare Gestalt nicht ändert.

Die ältere Ansicht von Smith, welche in Bezug auf die Vergrösserung der Sonne und des Mondes im Horizonte sogar schon von Ptolemaeus aufgestellt wurde, stützt sich dagegen auf die Ne-

*) Lehrbuch der Meteorologie III. S. 45.

**) Met. III. S. 48.

benumstände, welche das Urtheil bei der Schätzung von Entfernungen leiten. Wenn wir einen Punkt des Himmels, — etwa einen Stern, — in der Nähe des Horizontes betrachten, so kommt uns der Weg dahin sehr lang vor, weil er an so vielen auf der Erdoberfläche befindlichen Gegenständen vorbeigeht. Blicken wir dagegen nach einem beim Zenith stehenden Sterne, so finden wir auf dieser Linie nichts, wonach wir ihre Länge beurtheilen, oder das Bewusstsein einer grossen Entfernung gewinnen könnten, und der Stern scheint uns daher näher zu sein. Ich glaube, zu diesen Gründen, von denen wenigstens der letztere nur negativ ist, noch folgenden positiven hinzufügen zu dürfen. Wir sehen niemals, dass bestimmte irdische Gegenstände, deren Grösse uns bekannt ist und die uns also durch ihre scheinbare Verkleinerung einen Maassstab für ihre Entfernung bieten, sich sehr hoch über die Erdoberfläche erheben, während wir in horizontaler Richtung bei jeder freien Aussicht solche Gegenstände bis in so weite Fernen erblicken, als unser Auge sie nur zu erkennen vermag. Demgemäss werden wir nun auch fremde Gegenstände, über deren Entfernung wir kein unmittelbares Urtheil, sondern nur das Bewusstsein haben, dass sie sehr weit sind, und die wir daher an die Grenze der sonst vorkommenden Entfernungen setzen, in horizontaler Richtung für weiter halten, als in vertikaler. — Dass durch ein solches Urtheil über den Abstand einzelner Gestirne auch die scheinbare Gestalt des ganzen Himmelsgewölbes bedingt wird, braucht nicht weiter erwähnt zu werden.

Ausser den vorigen Betrachtungsweisen scheint mir auch noch eine andere sehr nahe zu liegen, welche ebenfalls zu einer Erklärung derselben Erscheinung führt. Wenn wir am Himmel nur die Gestirne erblickten, so würde in uns die Vorstellung eines halbkugelförmigen Gewölbes entstehen, denn die Sonne, der Mond und die Abstände der Fixsterne von einander zeigen sich bei ihrer Bewegung immer unter denselben Schwinkeln, und müssen daher, so lange das Urtheil noch unbefangen ist, den Schluss veranlassen, dass sie immer gleich weit von uns entfernt seien. Bei den Wolken dagegen bemerken wir unverkennbar, sowohl aus der Zunahme des Schwinkels, als auch aus der grössern Deutlichkeit des Erkennens, dass sie, wenn sie vom Horizonte her nach dem Zenith zu kommen, auch unserem Standpunkte näher rücken, und sie allein würden daher die Vorstellung eines sehr flachen Gewölbes erwecken. Da wir nun aber das Bestreben haben, Alles, was wir am Himmel sehen, auf eine und dieselbe Fläche zu versetzen, so combiniren wir aus jenen beiden Vorstellungen die eines mittleren Ge-

wölbes, welches für die Sterne zu flach und für die Wolken zu erhaben ist.

Obwohl die vorstehenden Erklärungen wesentlich von einander verschieden sind, so ist es doch durchaus nicht nöthig, sich für eine derselben als die allein richtige zu entscheiden, sondern wahrscheinlich wirken alle in ihnen angeführten Umstände zusammen, um gemeinsam unser Urtheil über die Gestalt des Himmels festzustellen. Bei der Unbestimmtheit und Veränderlichkeit dieser Umstände sollte man vielleicht auch glauben, das Urtheil sei bei verschiedenen Personen und zu verschiedenen Zeiten sehr ungleich. Das scheint aber nicht der Fall zu sein, denn indem auch Kaemtz an verschiedenen Orten denselben Versuch wie Smith anstellte, fand er Winkel, die zwischen $19^{\circ} 20'$ und $24^{\circ} 15'$, also dem oben angeführten von 23° ziemlich nahe lagen. Auf der andern Seite ist es jedoch eine Erfahrung, dass man zuweilen den auf- oder untergehenden Mond noch grösser findet, als gewöhnlich, und dann mag der Grund wohl in einer eigenthümlichen Wolkenbildung oder einer dunkleren Färbung des Mondes liegen, welche ihn als besonders weit entfernt erscheinen lassen.

Die scheinbare Gestalt des Himmels ist oft für die richtige Beurtheilung der an ihm stattfindenden Vorgänge von Wichtigkeit und kann zu bedeutenden Täuschungen Veranlassung geben. Wenn man nämlich an der Vorstellung der Halbkugel festhält, so würde es z. B. ziemlich nahe liegen, von einer Erscheinung, welche man an einem Punkte gesehen hat, der dem Augenmaasse nach in der Mitte zwischen Zenith und Horizont lag, nachher zu sagen, sie habe etwa in einer Höhe von 45° stattgefunden, was dem Obigen nach ganz unrichtig wäre. Jene Gestalt verdient daher mehr Beachtung, als ihr gewöhnlich zu Theil wird, und es wäre zu wünschen, dass alle Beobachter des Himmels sich derselben stets klar bewusst wären, zumal da man für die Bezeichnung der Orte am Himmel doch dabei bleiben muss, diesen, wie es in der Astronomie gebräuchlich ist, als Halbkugel zu betrachten, und man dadurch leicht verleitet wird, dieselbe Betrachtungsweise auch auf die Anschauung zu übertragen.

Erscheinungen, welche durch die Absorption und Reflexion des Lichtes in der Atmosphäre bedingt werden.

Schwächung des Lichtes in der Atmosphäre. Unsere Atmosphäre ist bei heiterem Wetter im hohen Grade durchsich-

tig, doch ist diese Durchsichtigkeit natürlich nicht vollkommen. Vielmehr kann die Schwächung des Lichtes bei seinem Durchgange durch die Luft, so unmerklich sie für geringe Strecken ist, bei grossen Entfernungen doch sehr bedeutend werden. Sie ist freilich den directen Messungen schwer zugänglich, weil es uns überhaupt an Mitteln gebricht, Lichtintensitäten mit einiger Genauigkeit zu bestimmen, indessen sind doch einige recht sinnreiche Versuche zu diesem Zwecke gemacht.

Saussure *) verfertigte dazu eine eigene Vorrichtung, die er Diaphanometer nannte. Sie bestand aus zwei ungleichen Tafeln, deren jede in der Mitte einen schwarzen Kreis enthielt, der eine von 2 Fuss, der andere von 2 Zoll Durchmesser. Diese Kreise waren umgeben von ebenso breiten weissen Ringen und der übrige Raum war mit Grün ausgefüllt, welche Anordnung Saussure durch Versuche als die zweckmässigste erkannt hatte. Stellte er diese Tafeln so neben einander auf, dass sie genau gleichmässig erleuchtet wurden, und entfernte sich dann allmählig, so konnte er ziemlich bestimmt die Entfernungen angeben, wo zuerst der kleinere und dann der grössere schwarze Kreis aufhörten, seinem Gesichte erkennbar zu sein. Wäre zwischen den Tafeln und seinem Auge keine Luft gewesen, so hätten diese beiden Entfernungen sich wie die Durchmesser der Kreise, also wie 1 : 12 verhalten müssen. Beim Versuche fand sich aber die letztere etwas zu klein. Die gemessenen Abstände waren nämlich 314 F. und 3588 F., und verhielten sich also wie 1 : 11,427. Indem Saussure dieses zu frühe Verschwinden des grössern Kreises der geringeren Lichtintensität zuschrieb, so folgte daraus, dass das Licht auf dem Wege von 3588—314 = 3274 F. im Verhältnisse von 12 : 11,427 oder 1 : 0,9522 geschwächt sein musste. Hieraus kann man die Schwächung für jede andere Entfernung berechnen.

Ein anderer Versuch wurde schon in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts von Bouguer mit dem Monde angestellt. Das Licht der Gestirne erleidet nämlich eine besonders starke Schwächung, weil es die ganze Atmosphäre zu durchdringen hat; diese Schwächung ist aber nicht immer gleich, sondern hängt davon ab, ob die Gestirne hoch oder niedrig am Himmel stehen, weil der Weg, den die Strahlen in der Atmosphäre zurückzulegen haben, um so grösser ist, je schräger er durch sie hindurchgeht. Diesen Unterschied nun

*) Mem. de Turin IV p. 425.

wollte Bouguer*) messen und wählte dazu, da ihm das Licht der Sonne zu stark und das eines Sternes zu schwach war, den Vollmond. In einer hellen Nacht, als der Mond gerade $19^{\circ} 16'$ hoch am Himmel stand, liess er ein Stück Papier von ihm beleuchten und hatte zugleich die Vorkehrung getroffen, dass ein eben solches daneben befindliches Papier nur von Kerzenlicht beleuchtet wurde. Indem er nun beide Flächen mit einander verglich, konnte er es durch Annähern und Entfernen der Kerzen dahin bringen, dass die letztere ebenso hell erschien, als die erstere, und die dazu nöthige Entfernung der Kerzen gab ihm dann das Maass für die Lichtstärke. Ebenso verfuhr er die folgende Nacht bei einer Höhe des Mondes von $66^{\circ} 11'$. Die Zahlen, die er dabei fand, zeigten, dass für diese beiden Höhen die Helligkeiten schon im Verhältnisse von 2 : 3 verschieden waren. Viel grösser aber wurde noch der Unterschied, wenn der Mond sich dem Horizonte näherte. Bouguer betrachtete ihn mehrmals gerade in dem Momente, wo er mit dem Rande den Meereshorizont berührte und maass dann seine Helle, wobei er fand, dass diese nur noch etwa $\frac{1}{2000}$ so stark war, als in der Höhe von $66^{\circ} 11'$. Wenn diese Zahl auch nicht als sehr zuverlässig anzusehen ist, so zeigt sie doch, wie gross der Einfluss der Atmosphäre werden kann.

Diese wenigen Versuche über die Lichtschwächung sind allerdings zur Feststellung einer so wichtigen Wirkung noch sehr unzureichend. Unsere Kenntniss von derselben wird indessen noch von einer andern Seite her bereichert. Die Atmosphäre schwächt nämlich auch die von der Sonne kommenden Wärmestrahlen, und die hier entstehenden Unterschiede sind unseren Messungen viel zugänglicher, weil wir dabei durch den Besitz des Thermometers unterstützt werden, so dass auch mehrere Physiker sich damit beschäftigt haben. Nehmen wir nun an, dass die Schwächung der Licht- und Wärmestrahlen gleich stark sei, — was freilich mit Sicherheit nicht erwiesen ist, — so können wir die letzteren Messungen auch unmittelbar auf das Licht anwenden.

Um nun die Resultate dieser verschiedenen Methoden unter einander vergleichen zu können, muss man sie alle auf einen bestimmten Fall anwenden. Dazu ist besonders der sehr geeignet, wenn ein Gestirn im Zenith steht, und also seine Strahlen gerade senkrecht durch die Atmosphäre gehen. Setzt man die Helle des Gestirns, wie sie einem Beobachter ausserhalb der Atmosphäre er-

*) Optice de diversis luminis gradibus dimetiendis, in lat. conv. a Rich-tenburg. Viennae 1762.

scheinen würde, $=1$ und berechnet nun nach allen jenen Angaben einzeln die Helle, welche ein Beobachter an der Erdoberfläche noch sieht, so erhält man lauter Werthe, die zwischen 0,59 und 0,81 liegen, und man kann als Mittelwerth etwa $0,75 = \frac{3}{4}$ annehmen. Demnach würde also das Licht auf einem so weiten Wege, wie er dem senkrechten Durchgange durch die Atmosphäre entspricht, ungefähr ein Viertel von seiner ursprünglichen Intensität verlieren.

Natürlich darf man diese Angabe nur als einen Durchschnittswerth betrachten, von dem die wahren Werthe unter verschiedenen Umständen sehr abweichen können, da die Durchsichtigkeit der Luft nicht immer gleich, sondern im hohen Grade von der Witterung abhängig ist. Welchen Einfluss die letztere übt, ist bis jetzt noch wenig ermittelt, doch scheint im Allgemeinen die Luft um so klarer zu sein, je trockener sie ist. Dafür spricht die häufige Bemerkung, dass man in den heissen Zonen die Sterne viel deutlicher erblickt als bei uns, und noch mehr die überraschende Klarheit, welche die Reisenden im Innern grosser Continente wahrgenommen haben. So sagt Olivier*) über die Trockenheit der Luft in Persien: „diese Trockenheit ist so gross, dass... im Sommer kein Thau auf den Pflanzen, kein nur einigermaassen merklicher Dunst in der Atmosphäre, kein Nebel auf den erhabensten Bergen und keine Wolke in der Luft bemerkt wird;“ und dann fährt er in Bezug auf die Klarheit fort: „der Himmel ist so rein, und die Sterne geben des Nachts soviel Licht, dass man eine grobe Schrift lesen und einen bekannten Menschen auf zehn Schritte deutlich erkennen kann.“ Dieselbe Durchsichtigkeit wird aus Africa berichtet und auch in Sibirien hat Hansteen sie beobachtet, woraus zugleich folgt, dass sie nicht bloss durch die grössere Wärme verursacht wird.

Neben dieser allgemeinen Regel hat die Erfahrung noch eine andere ihr beinahe entgegengesetzte aufgestellt, dass nämlich bei uns oft kurz vor oder nach einem Regen die Luft besonders durchsichtig erscheint, und ferne Gegenstände aus ihrer sonstigen Undeutlichkeit klar hervortreten. Diese Thatsache scheint ziemlich bekannt zu sein; beim Volke dient sie sogar zuweilen als Vorzeichen von Regen, und auch wissenschaftliche Beobachter haben sie bestätigt, z. B. Kaemtz**) auf seiner Alpenreise. Ihre Gründe aber, und besonders die Rolle, welche der dann gewiss reichlich vorhandene Wasserdunst dabei spielt, sind meines Erachtens noch nicht hinlänglich erklärt.

*) Reise durch Persien und Kleinasien I. Cap. 7.

**) Met. III. S. 28.

Allgemeine Tageshelle. Nachdem im Vorigen gezeigt ist, dass nicht alles Licht, welches die Sonne und die übrigen Gestirne der Erde zusenden, direct an der Erdoberfläche ankommt, sondern ein bedeutender Theil auf dem Wege durch die Atmosphäre verloren geht, so entsteht nun die Frage, was aus diesem verlorenen Lichte wird. Ein Theil desselben kann von der Luft absorbirt werden, so dass er, wenigstens in der Gestalt von Licht, nicht mehr vorhanden ist, doch ist über eine solche Absorption noch nichts mit Sicherheit bekannt. Dagegen steht es fest, dass ein grosser Theil reflectirt wird, und diese Fähigkeit der Atmosphäre, Licht zu reflectiren, muss als eine ihrer wichtigsten Eigenschaften angesehen werden. Ohne sie würde der Himmel vollkommen schwarz erscheinen, und auf diesem dunklen Hintergrunde der Glanz der Sonne um so blendender hervortreten. Die von der Sonne direct beleuchteten Gegenstände würden sehr hell, dagegen alle im Schatten befindlichen fast ganz dunkel und unerkennbar sein. Durch diese scharfen Contraste von Licht und Schatten würde die Beleuchtung im Freien für unser Auge, wenigstens bei seiner jetzigen Einrichtung, unerträglich werden, während andererseits die gegen die Witterung geschützten Räume, wie das Innere unserer Häuser, der Wohlthat des Tageslichtes ganz entbehren würden.

Statt dessen sendet uns jetzt die Atmosphäre von allen Seiten reflectirte Strahlen, so dass das Himmelsgewölbe, welches uns rings umgiebt, in seiner ganzen Ausdehnung selbstleuchtend zu sein scheint, und aus diesem fast überall wahrnehmbaren Lichte entsteht die wohlthuende allgemeine Tageshelle.

Wir müssen nun aber diese Reflexion in der Atmosphäre etwas näher betrachten, und zwar zunächst ihre Ursache. Da die Luft nicht überall gleich dicht ist, sondern in den höheren Regionen dünner wird, so könnte man darin vielleicht den Grund der Reflexion sehen, indem das Licht bei jedem Uebergange aus einem dünneren Mittel in ein dichteres und umgekehrt, theilweise reflectirt wird. Diese Erklärung widerlegt sich aber ausser manchen anderen Widersprüchen schon dadurch, dass die Flächen gleicher Dichtigkeit in der Atmosphäre ziemlich nahe unter sich und mit der Erdoberfläche parallel sind, und daher die Reflexionen nur in bestimmten Richtungen geschehen könnten, während sich das atmosphärische Licht gerade durch die Eigenthümlichkeit auszeichnet, dass es nach allen Richtungen zerstreut ist, so dass man an jedem Punkte der Erdoberfläche von jedem Punkte des Himmels Strahlen empfängt.

Der letztere Umstand macht es nothwendig, anzunehmen, dass

überall durch die Atmosphäre unzählige Körperchen verbreitet seien, deren Oberflächen alle möglichen Lagen haben, und dass an diesen die Reflexion vor sich gehe. Die Natur dieser Körper und ihre besonderen Eigenschaften sind damit freilich noch nicht bestimmt. Man könnte noch zweifelhaft sein, ob sie der Atmosphäre ursprünglich fremd und nur durch äussere Ursachen hinein gekommen seien, oder ob sie vielleicht die Bestandtheile der Atmosphäre selbst bildeten, indem man sich z. B. vorstellte, die Luft bestehe aus getrennten Theilen, die zwar sehr klein, aber doch gross genug seien, um eine regelmässige Reflexion zu bewirken. Es giebt indessen gewisse Gründe, aus welchen sich bestimmte Folgerungen ziehen lassen, und ich habe in einem hierauf bezüglichen Aufsätze*) nachgewiesen, dass man sich unter jenen Körpern, wenn man nicht auf Widersprüche gerathen will, nur Wasserbläschen denken könne.

Wenn nämlich ein Lichtstrahl einen durchsichtigen Körper durchdringt, so wird er dabei im Allgemeinen gebrochen, so dass er in anderer Richtung weiter geht, als in der er angekommen ist. Dieses lässt sich auch auf die Körperchen in der Atmosphäre anwenden, sofern man dieselben nicht etwa als undurchsichtig betrachtet, was gegen alle Wahrscheinlichkeit sein würde. Das Sonnenlicht, welches auf seinem Wege ein solches Körperchen trifft, wird zwar zum Theil an seiner Oberfläche reflectirt, der übrige Theil aber dringt hindurch, und dieser unterliegt den gewöhnlichen Brechungsgesetzen. Danach sollte man also erwarten, dass der Theil des Sonnenlichtes, welcher zur Erde gelangt, dort nicht in seiner ursprünglichen, sondern in verschiedenen von jener nach allen Seiten hin abweichenden Richtungen ankommen würde, so dass man statt der scharf begrenzten Sonnenscheibe einen unbestimmten über den Himmel verbreiteten Glanz sehen müsste. Da dieses sich nun aber nicht bestätigt, sondern die Strahlen in unveränderter Richtung zu uns kommen, so findet hier ein Ausnahmefall statt, der nur durch die eigenthümliche Gestalt jener Körper veranlasst sein kann, und es erhebt sich daher die Frage, welche Gestalt dieselben haben müssen, um zwar eine Reflexion, aber keine Brechung zu verursachen. Dazu ist die Gestalt von Platten mit parallelen Grenzflächen nothwendig, denn nur diese haben die besondere Eigenschaft, dass die beiden Brechungen, die beim Ein- und Austritt des Strahles an den parallelen Flächen geschehen, sich gegenseitig aufheben, während die zugleich stattfindenden Reflexionen sich addiren. Solche

*) Pogg. Ann. B. 76, S. 161.

Platten in der Atmosphäre voranzusetzen scheint nun zwar auf den ersten Blick etwas unnatürlich, und doch kommen dergleichen schon nach der gewöhnlichen Annahme in ihr vor. Es sind nämlich die Dampfbläschen. Ein Bläschen bietet dem hindurchgehenden Strahle nicht eine zusammenhängende Masse dar, sondern da es hohl ist, muss der Strahl, um in den innern Raum zu gelangen, ein Wasserhäutchen durchdringen, und ebenso um wieder daraus hervorzugehen, und dieses Häutchen kann man an jeder der beiden Stellen als eine Platte mit parallelen Grenzflächen betrachten, zumal wenn es recht dünn ist. Hiernach würde man also annehmen müssen, dass selbst bei dem klarsten Wetter noch einige feine Dampfbläschen in der Luft vorhanden seien, welche die Lichtreflexion bewirkten. Die dazu erforderliche Anzahl ist auch verhältnissmässig nur sehr gering, denn jedes Bläschen bewirkt eine bedeutende Reflexion, da der hindurchgehende Strahl auf vier Flächen trifft, an denen er theilweise reflectirt wird.

Was nun die Stärke des atmosphärischen Lichtes betrifft, so würde es bei seiner Wichtigkeit für das gemeine Leben gewiss von grossem Interesse sein, einige genauere Messungen darüber zu erhalten. Dahin gehört z. B. die Ermittlung der Lichtmenge, welche wir bei verschiedenen Stellungen der Sonne und unter verschiedenen Witterungsverhältnissen aus der ganzen Atmosphäre, also scheinbar vom ganzen Himmelsgewölbe erhalten, verglichen mit der, welche von der Sonne direct zu uns gelangt; ferner die Helle, welche der Himmel an seinen verschiedenen Puncten zeigt, im Verhältniss zur Helle der Sonnenscheibe oder des Mondes. Es sind in dieser Beziehung jedoch noch wenige Versuche angestellt. Bouguer führt zwar einige Beobachtungen an, mittelst deren er die Helle verschiedener Puncte des Himmels unter einander zu vergleichen suchte*), doch theilt auch er nur einige allgemeine Resultate meistens ohne die dazugehörigen Zahlen mit. Die Hauptschwierigkeit, welche alle genaueren Messungen der Art verhindert, liegt, wie schon oben erwähnt, in der Unvollkommenheit unserer Mittel, die Lichtstärke zu bestimmen.

Wir sind demnach bis jetzt darauf beschränkt, uns wenigstens theoretisch einigermaassen klar zu machen, wie die Atmosphäre auf das Licht wirkt. Dabei handelt es sich natürlich nicht um eine einfache Reflexion, sondern ebenso, wie das directe Sonnenlicht auf

*) Optice p. 34.

seinem Wege durch die Atmosphäre allmählig mehr und mehr an Intensität verliert, so hat auch das reflectirte Licht keinen freien Durchgang, sondern wird selbst wieder theilweise reflectirt, dieses doppelt reflectirte dann zum dritten Male, und so bis in's Unendliche. Auch das wirklich auf der Erdoberfläche angelangte Licht ist dadurch noch nicht zur Ruhe gekommen, sondern davon wird wieder ein Theil zurückgestrahlt, und erleidet dann abermals die unendlichen Reflexionen in der Atmosphäre. Erst unter Berücksichtigung dieser verschiedenen Vorgänge kann man berechnen, wieviel von dem reflectirten Lichte in den Weltenraum ausgestrahlt wird, und dadurch für die Erde verloren geht, und wieviel ihr dagegen nach allen wiederholten Reflexionen endlich doch zu gute kommt, und in welcher Weise dieses den Himmel erscheinen lässt. Es würde hier zu weit führen, auf diese Untersuchungen näher einzugehen, und ich will daher nur noch einige Zahlen anführen, zu denen ich in einer nach dem Vorgange Lambert's angestellten Berechnung dieses Gegenstandes*) gelangt bin. Diese Zahlen sind indessen dort nur beispielsweise, mit Hülfe besonderer Annahmen, aus den allgemeinen Formeln abgeleitet, und können daher nicht eine ebenso allgemeine Gültigkeit, als die Formeln selbst, beanspruchen, was bei der Veränderlichkeit des Zustandes der Atmosphäre zu verschiedenen Zeiten und an verschiedenen Orten, auch überhaupt nicht möglich ist.

Die Lichtmenge, welche irgend ein horizontales Flächenstück der Erde, etwa eine Quadratruthe, von der Sonne empfängt, hängt in doppelter Weise von deren Höhe ab. Erstens ist die Projection der Fläche auf eine senkrecht gegen die ankommenden Strahlen gerichtete Ebene, um so kleiner, und zweitens der Weg durch die Atmosphäre um so länger, je schräger die Strahlen kommen. In der nachstehenden Tabelle sind die dadurch bedingten Lichtmengen für einige Höhen der Sonne angegeben, und daneben befinden sich die Lichtmengen, welche dasselbe Flächenstück zu gleicher Zeit vom ganzen Himmel empfängt. Als Einheit ist dabei die Lichtmenge genommen, die das Flächenstück von der Sonne erhalten würde, wenn diese im Zenith stände, und keine Atmosphäre vorhanden wäre.

*) Crelle's Journ. B. 34 und 36 und im Auszuge Pogg. Ann. B. 72.

Zenithabstand der Sonne.	Menge des directen Sonnenlichtes, wenn es nicht durch die Atmosphäre geschwächt würde.	Menge des directen Sonnenlichtes nach geschehener Schwächung durch die Atmosphäre.	Menge des vom ganzen Himmelsgewölbe kommenden Lichtes.
0°	1	0,75	0,186
30°	0,866	0,621	0,177
60°	0,5	0,281	0,138
80°	0,174	0,033	0,067

Man sieht hieraus, einen wie bedeutenden Theil das vom Himmelsgewölbe kommende Licht zur allgemeinen Tageshelle beiträgt. Wenn die Sonne noch 10° vom Horizonte steht, ist es schon doppelt so stark als das direct von der Sonne kommende, und bei tieferem Stande wird dieses Verhältniss noch immer grösser.

In Bezug auf die Helle des Himmels wollen wir uns hier auf zwei allgemeine Sätze beschränken, die die Grundlage für die Vertheilung des Lichtes am Himmel bilden, nämlich dass die Helle in der Umgegend der Sonne immer am grössten ist, und von da aus mit wachsender Entfernung abnimmt, und dass sie in der Nähe des Horizontes grösser ist, als in höheren Regionen. Ausserdem möge noch durch eine Zahl das Verhältniss der Helle des Himmels zu der der Sonne angedeutet werden. Wenn wir die Helle der Sonne ausserhalb der Atmosphäre gleich 1000000 setzen, welcher Werth z. B. für den Fall, dass die Sonne 30° hoch steht, durch die in der Atmosphäre stattfindende Schwächung auf 562500 reducirt wird, so erreicht die Helle des Himmels an keiner Stelle den Werth 12, und an den meisten Puncten ist sie noch bedeutend geringer.

Die Dämmerung. Der wichtige Einfluss, den die Atmosphäre auf das Sonnenlicht übt, tritt besonders deutlich hervor, wenn

die Sonne unter den Horizont hinab gesunken ist. Schon die Erscheinung des Sonnenunterganges, — und dasselbe gilt natürlich vom Aufgange, — würde ohne die Atmosphäre eine ganz andere sein, als jetzt. Die ganze Lichtmenge, welche ein Theil der Erdoberfläche von der Sonne empfängt, würde zwar auch dann während des Herabsinkens derselben allmählig immer geringer werden, aber dadurch würde nicht eine gleichmässige Abnahme der allgemeinen Helle bewirkt werden, sondern während die schwarzen Schatten der hervorragenden Gegenstände wüchsen und bald den ganzen Boden bedeckten, würden die wenigen erhabenen und der Sonne zugekehrten Stellen aber, welche ihren Strahlen ausgesetzt blieben, immer noch dieselbe Helle zeigen, wie am hohen Mittage. Licht und Schatten würden also nicht an Intensität abnehmen, und dadurch in einander übergehen, sondern nur an Ausdehnung würden sie sich ändern, bis endlich mit dem Verschwinden der letzten hellen Punkte vollkommene Nacht einträte. Durch die Wirkung der Atmosphäre dagegen wird der blendende Glanz der Sonne immer mehr gemildert, je tiefer sie sinkt, und dadurch gewinnt die Helle des Himmelsgewölbes immer mehr an Bedeutung, denn obwohl diese nicht, wie es den Anschein haben könnte, wächst, so nimmt sie doch viel langsamer ab, als das directe Sonnenlicht. Daher kommt es, dass man den Moment des Unterganges der Sonne an Orten, wo man diese nicht gerade vor Augen hat, gar nicht bemerkt, und nach dem Untergange das atmosphärische Licht allein die Nacht, die eigentlich gleich mit jenem Momente ihre volle Herrschaft beginnen sollte, noch lange zurückhält, und uns die wohlthuende Uebergangsperiode der Dämmerung bereitet, die uns ebenso auch gegen Morgen schon wieder erfreut, lange ehe noch die Sonne den Horizont erreichen kann.

Um nun auf die Betrachtung der Dämmerung näher einzugehen, ist es zunächst nöthig, ihre äusseren Eigenschaften und besonders ihre Dauer festzustellen. Aber wie soll man diese letztere bestimmen, da die Dämmerung in der Natur nicht durch eine plötzliche Veränderung begrenzt wird, sondern ganz allmählig in die Nacht übergeht? Eine unbedingt maassgebende Entscheidung ist da überhaupt nicht möglich, aber man kann sich wenigstens, um Uebereinstimmung in die Angaben zu bringen, über gewisse Merkmale einigen, nach welchen man sein Urtheil in dieser Beziehung richten will. Im gemeinen Leben pflegt man die Dämmerung nur so lange anzuerkennen, als ihr Licht noch für die gröberen häuslichen Geschäfte ausreicht, oder bis die ersten Sterne am Himmel erscheinen,

und diese Zeit bezeichnet man mit dem Namen der bürgerlichen Dämmerung. In der Wissenschaft dagegen verfolgt man die Erscheinung noch weiter und setzt erst das Sichtbarwerden der kleinsten Sterne, die dem blossen Auge selbst mitten in der Nacht überhaupt noch wahrnehmbar sind, als ihre Grenze, denn da das atmosphärische Licht die Ursache ist, weshalb wir bei Tage die Sterne nicht sehen können, so bildet das Erscheinen der letzten unter ihnen einen Beweis für das Aufhören desselben. Diesen Zeitpunkt nennt man das Ende der astronomischen Dämmerung.

Da die Dämmerung nur so lange wahrnehmbar sein kann, als die Sonne noch nicht zu tief unter den Horizont gesunken ist, so entstand die Frage, welche Tiefe als die Grenze zu betrachten und da hat man durch mehrere ziemlich übereinstimmende Beobachtungen gefunden, dass für unsere Gegenden die bürgerliche Dämmerung aufhört, wenn die Sonne 6° , und die astronomische, wenn die Sonne 18° unter dem Horizonte steht. Nimmt man diese Angaben als sicher an, so kann man aus ihnen auf mathematischem Wege bestimmen, wie lange an irgend einem Orte der Erde und einem bestimmten Tage des Jahres die Dämmerung dauern muss, indem man untersucht, wie lange Zeit die Sonne bedarf, um eine unter dem Horizonte liegende Zone von 6° oder 18° zu durchlaufen. Man übersieht leicht, dass es dabei besonders darauf ankommt, ob die Sonnenbahn jene Zone senkrecht oder schräge durchschneidet, und dass daher die Dämmerung im Allgemeinen in der gemässigten und kalten Zone länger als in der warmen, und dass sie an jedem Orte mit den Jahreszeiten veränderlich sein muss. Einige bestimmtere Resultate der mathematischen Betrachtungen sind für die astronomische Dämmerung folgende.

Am Aequator sind die Dämmerungen wenig von einander verschieden. Die kürzesten, welche zu den Zeiten der Aequinoctien stattfinden, betragen $1^h 12^m$, und die längsten, welche mit den Solstitien zusammenfallen, $1^h 19^m$. In höheren Breiten fallen die kürzesten Dämmerungen zwar auch in den Frühling und Herbst, aber nicht gerade auf die Aequinoctien, die längsten dagegen entsprechen auch hier den beiden Solstitien. Die letzteren sind indessen nicht unter einander gleich, sondern die in den Winter fallende ist kürzer als die in den Sommer fallende, und bei dieser findet noch ein besonderer Umstand statt. Wenn nämlich die Breite des Beobachtungsortes grösser ist, als $48\frac{1}{2}^{\circ}$, so sind die Nächte zur Zeit des Sommersolstitiums so kurz, dass sich die Morgendämmerung unmittelbar an die Abenddämmerung anschliesst, und also die Dämmerung gar nicht aufhört. Die Anzahl der Nächte, in denen dieses stattfindet,

— der hellen Nächte, — ist um so grösser, je weiter der Ort vom Aequator entfernt liegt. Nehmen wir z. B. einen Ort auf dem 50. Breitengrade an, so fallen hier die kürzesten Dämmerungen auf den 3. März und 11. October und dauern $1^h 50^m$, die längste Winterdämmerung beträgt $2^h 4^m$, und im Sommer gehen die hellen Nächte vom 1. Juni bis zum 12. Juli, während welcher Zeit also die Abend- und Morgendämmerung, jede über $3\frac{1}{2}^h$ dauern muss. Geht man noch weiter nach den Polen zu, so gewinnen die Dämmerungen immer mehr an Ausdehnung, besonders in den kalten Zonen, wo während längerer Zeit die Sonne gar nicht über dem Horizont erscheint. An den Polen selbst dauert die Abend- und Morgendämmerung, wenn man die Dämmerungen, welche die halbjährige Nacht einleiten und beenden, so nennen will, jede etwas über 51 Tage.

Bei der bürgerlichen Dämmerung finden ganz ähnliche Verhältnisse, nur im beschränkteren Maassstabe statt. Für den 50. Grad hat man z. B. folgende Werthe. Die kürzesten, welche am 15. März und 29. September eintreten, dauern etwa 35^m , während die längste im Winter 41^m und im Sommer 47^m beträgt.

Diese Untersuchungen über die Dauer der Dämmerung und die damit zusammenhängenden Aufgaben, z. B. die Tage der kürzesten Dämmerung zu finden, deren Lösung bedeutende Schwierigkeiten macht, haben sich einer grossen Aufmerksamkeit der Mathematiker zu erfreuen gehabt, und haben namentlich durch die Brüder Joh. und Jac. Bernoulli, deren ersterer über fünf Jahre mit ihnen beschäftigt gewesen ist, eine gewisse Berühmtheit in der Wissenschaft erlangt. Man kann indessen nicht sagen, dass unsere Kenntniss von der Erscheinung selbst dadurch sehr gefördert sei, weil man bei der grossen mathematischen Genauigkeit zu wenig an die Veränderlichkeit der mitwirkenden physikalischen Umstände gedacht hat.

Da nämlich die Dämmerung durch Reflexion des Lichtes in der Atmosphäre bewirkt wird, die letztere aber unter verschiedenen Witterungsverhältnissen sehr ungleiche Durchsichtigkeit und daher auch ungleiche Reflexionskraft besitzt, so wird die Tiefe der Sonne unter dem Horizonte, von welcher aus sie uns noch Licht in merkbarer Menge heraufsenden kann, nicht immer gleich sein, und die obigen Werthe 6° und 18° , auf welchen alle anderen angeführten Zahlen beruhen, können nur als ungefähre Mittelwerthe für unsere Gegenden betrachtet werden. Es scheint, als müsse man sie in den nördlicheren Gegenden grösser und in den südlicheren, besonders in denen, die sich durch Trockenheit auszeichnen, kleiner annehmen, indem man in den Polargegenden zuweilen beobachtet hat,

dass die Dämmerungen unverhältnissmässig lang seien, während man sie in den heissen Ländern wieder viel zu kurz findet. In letzterer Beziehung erzählt z. B. Germar aus Dalmatien*): „Die bekannte Erscheinung, dass nach dem Aequator zu die Dauer der Abenddämmerung allmählig abnimmt, findet sich hier schon recht auffallend. Eine halbe Stunde nach Sonnenuntergang ist es vollkommen Nacht;“ und in Cumana schreibt A. v. Humboldt**): „Pendant le crépuscule, qui ne dure que quelques minutes“ Wenn man hierbei vielleicht auch nicht an die vollständige astronomische Dämmerung zu denken hat, so kann man daraus allein doch nicht die bedeutenden Abweichungen von den obigen mathematischen Resultaten erklären, und man muss den Grund unzweifelhaft in der mit der grössern Klarheit verbundenen geringeren Reflexionsfähigkeit der Luft suchen.

Alle hiernach bei der Dämmerung mitwirkenden Umstände in den allgemeinen Rechnungen vollständig zu berücksichtigen, würde natürlich unmöglich sein, doch sollte man wenigstens jenen Mittelwerth, den wir zu 18° angenommen haben, in jedem Lande durch besondere Beobachtungen bestimmen, und die erhaltene Zahl den Rechnungen, welche für dieses Land gelten sollen, zu Grunde legen. Dieses ist auch schon von Bravais bei Berechnung einer für Frankreich gültigen Tabelle der Dämmerungen geschehen***), indem er sich durch zahlreiche, von ihm angestellte, aber noch nicht bekannt gemachte Beobachtungen bewogen gefunden hat, 16° an die Stelle von 18° zu setzen.

Wir haben unter den Eigenschaften der Dämmerung bisher nur von ihrer Dauer gesprochen, wir müssen nun aber auch den Verlauf der Erscheinung selbst betrachten. Sobald die Sonne im Westen unter den Horizont gesunken ist, kann man im Osten ein ziemlich deutlich begrenztes, dunkles Segment am Himmel entstehen sehen. Dieses wächst zuerst ganz langsam, mit der Zeit aber erhebt es sich schneller, erreicht das Zenith, breitet sich über dasselbe hinfort nach Westen aus und hat bald beinahe den ganzen Himmel überzogen, so dass nur noch ein kleines Segment im Westen hell geblieben ist. Das letztere sinkt dann wieder langsamer, und je kleiner es geworden ist, desto allmählicher geschieht seine weitere Abnahme. Endlich aber verschwindet auch der letzte helle Schein, und

*) Reise nach Dalmatien und Ragusa. S. 115.

**) Voyage aux regions equinoxiales etc. XI. 17.

***) Annuaire météorologique de la France pour 1849. p. 34.

dieser Moment bezeichnet viel genauer, als der Grad der Dunkelheit, das Ende der Dämmerung.

Dieser Vorgang, der das eigentliche Wesen der Dämmerung bildet, ist zwar schon längst bekannt und von Vielen wahrgenommen, aber von sehr Wenigen mit genauen Messungen verfolgt. Die vollständigste Beobachtung der Art, die wir besitzen, ist noch immer die, welche Lambert im November 1759 auf einer Sternwarte zu Augsburg angestellt hat. Die Beschreibung, welche er davon giebt, ist in einem frühern Aufsatze dieses Bandes *) schon einmal wörtlich enthalten, und ich will daher hier nur soviel anführen, als nothwendig ist, um den Gang der Erscheinung zu übersehen und die nachfolgenden Betrachtungen daran zu knüpfen.

Zeit der Beobachtung.		Tiefe der Sonne unter dem Horizonte.	
Stunde.	Minuten.		
IV	26	0	Sonnenuntergang.
—	29	33'	scheinbarer Sonnenuntergang**).
—	36	1° 34'	der östliche Himmel verdunkelt sich in der Nähe des Horizontes.
...	...	...	...
V	5	5° 56'	der östliche Himmel ist bis zum Zenith beschattet.
...	...	...	...
—	19	8° 3'	der helle Schein am westlichen Himmel hat noch eine Höhe von 8° 30'.
—	25	8° 59'	7° 15'.
...	...	...	...
—	43	11° 48'	5° 45'.
...	...	...	...
VI	4	15° 5'	3° 15'.

hier wurde die Beobachtung wegen des störenden Einflusses des Zodiakallichtes und der eintretenden grösseren Kälte abgebrochen.

Lambert ist es auch, welcher bei der ihm eigenthümlichen Gründlichkeit die Erklärung der Dämmerung zuerst mit der gehörigen

*) S. 242—243.

**) Etwas später als der wahre Sonnenuntergang wegen der weiter unten zu erwähnenden Strahlenbrechung.

wissenschaftlichen Klarheit und Ausführlichkeit gegeben hat. Diese Erklärung wird noch bis jetzt ziemlich allgemein als die genügendste anerkannt, ohne dass man jedoch glauben darf, dass in ihr die Sache erledigt sei. Vielmehr bleibt zu einer vollständigen und überall mit den nöthigen quantitativen Bestimmungen ausgerüsteten Auseinandersetzung des ganzen Phänomens noch sehr viel zu thun übrig. — Wir wollen uns nun zur Erklärung selbst wenden und sie wenigstens in ihren Hauptzügen kurz entwickeln.

Sei in Fig. 1. der innere Kreis ein Querschnitt der Erdkugel, und der Ring, welcher zwischen ihm und dem äusseren Kreise enthalten ist, ein Querschnitt der Atmosphäre, welche der deutlicheren Zeichnung wegen im Verhältniss zur Erdkugel viel zu gross dargestellt ist. Sei ferner O der Ort der Erde, wo wir uns befinden, so ist AZB der für uns sichtbare Theil der Atmosphäre, auf dessen Beleuchtung es bei der Dämmerung ankommt. Wenn nun die Sonne in der Richtung der Tangente OS_0 steht, so geht sie für uns in O gerade unter, und in diesem Momente beleuchtet sie noch uns und unsere ganze Atmosphäre. Wenn sie aber etwas tiefer gesunken ist, so dass sie etwa in der Richtung CS steht, so kann nach O kein Strahl mehr gelangen, und auch von unserer Atmosphäre ist der Theil AMC verdunkelt (siehe Fig. 1_a). Dagegen ist der ganze Theil CMB noch erleuchtet, und dieser sendet nach O reflectirtes Licht. Der dunkle Theil AMC , dessen Höhe durch den Bogen AC bestimmt wird, ist es, der sich in der Natur als das dunkle Segment darstellt, welches wir am östlichen Himmel erblicken, oder mit andern Worten, dieses Segment ist der Schatten, den die Erde auf ihre eigene Atmosphäre wirft. Ist die Sonne weiter bis zu der durch S_1 angedeuteten Stellung herabgesunken, so ist schon der grössere Theil unserer Atmosphäre ANC_1 (siehe Fig. 1_b) verdunkelt, und nur noch der Theil C_1NB empfängt directes Sonnenlicht, wovon er etwas nach O reflectiren kann. Wenn endlich die Sonne die Stellung S_2 erreicht hat, welche gerade so bestimmt ist, dass die Tangente S_2P bei ihrer Verlängerung den Punkt B trifft, so hört die directe Beleuchtung des uns sichtbaren Theils der Atmosphäre ganz auf. Damit ist zwar noch nicht die Dämmerung überhaupt beendet, sondern nur der Theil, den man mit dem Namen der ersten Dämmerung bezeichnet; wir wollen indessen bei diesem vorläufig stehen bleiben, um einige nothwendige Bemerkungen daran zu knüpfen.

Es ist vorher gesagt, die nach Sonnenuntergang im Osten entstehende Verdunkelung des Himmels sei der Erdschatten. Daraus könnte man vielleicht schliessen, die Gestalt dieses Schattens, als

ein von einem Bogen begrenztes Segment, sei eine Folge der Kugelgestalt der Erde. Das würde aber unrichtig sein. Der Theil der Erdoberfläche, der hier in Betracht kommt, ist so klein, dass wir ihn beinahe als eben betrachten können, und dasselbe gilt von der oberen Grenzfläche der Atmosphäre. Somit muss jener Schatten, soweit wir ihn sehen können, von einer fast geraden Linie begrenzt sein. Da wir nun aber Alles, was wir am Himmel sehen, auf die Fläche eines hohlen Gewölbes versetzen, so nimmt dadurch die Gerade die scheinbare Gestalt eines Bogens an.

Bei der Beschreibung jenes Segmentes wurde angeführt, dass seine Bewegung sehr ungleich sei, indem es zu Anfang und zu Ende der Erscheinung sehr langsam, in der Zwischenzeit aber eine Weile mit bedeutender Geschwindigkeit fortschreite. Der Grund davon lässt sich aus der Figur leicht erkennen. Denken wir uns, der Punkt *C* (Fig. 1) bewege sich von *A* durch *Z* nach *B* mit gleichförmiger Geschwindigkeit, was ziemlich nahe richtig ist, indem der Schatten in demselben Verhältnisse fortschreitet, wie die Sonne sinkt, und betrachten wir dabei das Verhalten der Linie *OC*, der Gesichtslinie von unserem Auge nach dem obersten Punkte des Schattens. Wenn *C* sich bewegt, so muss *OC* sich um *O* drehen, und es fragt sich nun, ob ihre Winkelgeschwindigkeit ebenso, wie die Bewegung von *C*, gleichförmig sei, oder nach welchem Gesetze sie sich ändere. Da das Gewölbe *AZB* sehr flach ist, — viel flacher als es in der Figur dargestellt ist, — so überzeugt man sich durch unmittelbare Anschauung, dass, so lange sich *C* in der Nähe von *A* befindet, die Winkelbewegung der Linie *OC* nur sehr langsam sein kann, dass sie aber allmählich an Schnelligkeit zunehmen muss, um so mehr, je näher *C* dem Punkte *Z* rückt, und dass sie endlich nach Durchschreitung dieses Punktes ebenso wieder abnehmen und in den ersten Gang zurückkehren muss. Dieses Resultat entspricht ganz der Beobachtung, und eine genauere Rechnung zeigt sogar, dass die Unterschiede der Geschwindigkeit so bedeutend sind, wie man es aus jener wohl kaum erwartet hätte. Setzen wir nämlich voraus, die Höhe der Atmosphäre, soweit sie noch merklich Licht reflectirt, betrage 4 Meilen, wobei wir noch zu viel zugeben, indem, wie wir weiter unten sehen werden, diese Höhe jedenfalls geringer ist, so braucht der Schatten in der Nähe des Horizontes eben so viel Zeit zu einer Bewegung von $\frac{1}{6}^{\circ}$, als beim Zenith zu einer solchen von 30° . Daher kommt es, dass, wenn er sich in der ersten halben Stunde nach Sonnenuntergange nur vom Horizonte bis auf 10° erhoben hat, er in den nächsten 5 Minuten bis 20° steigt und in den

dann folgenden 5 Minuten bis zum Zenith und noch 30° darüber hinaus eilt. Diese ungleichmässige Bewegung des Segmentes äussert in der Natur noch eine besondere Wirkung. Da nämlich die Lichtmenge, welche wir vom Himmel empfangen können, davon abhängt, ein wie grosser Theil des Himmels selbst erleuchtet ist, so folgt aus dem Vorigen, dass die Helle nach Sonnenuntergange zuerst langsam, dann eine Zeit hindurch viel schneller, und darauf wieder langsam abnehmen muss. Obgleich dieser Unterschied in der Wirklichkeit durch das Licht der zweiten Dämmerung, welches gleichzeitig vorhanden ist und sich nicht in derselben Weise ändert, bedeutend gemildert wird, so ist er doch noch hinreichend, um ihn in den meisten Fällen bei einiger Aufmerksamkeit deutlich erkennen zu können. Der Zeitpunkt dieses Ueberganges tritt ein, wenn die Sonne etwa 6° unter dem Horizonte steht, und fällt also gerade mit dem zusammen, den man als das Ende der bürgerlichen Dämmerung angenommen hat, und man sieht daraus, dass diese letztere Bestimmung, die auf den ersten Blick etwas willkürlich zu sein scheint, doch ihren ganz natürlichen Grund hat.

Wir wollen nun zur Betrachtung der zweiten und dritten Dämmerung übergehen. Wählen wir in Fig. 1. z. B. die Stellung S_1 der Sonne, so ist von dem uns sichtbaren Theile der Atmosphäre nur das Stück C_1NB den directen Sonnenstrahlen zugänglich. Dagegen ist es der unter NB befindliche Theil noch fast überall und von hier aus gelangt eine grosse Menge reflectirten Lichtes in unsere Atmosphäre. Dieses Licht muss, um unser Auge zu treffen, noch einmal also im Ganzen wenigstens zweimal reflectirt werden, und wir nennen es daher Licht der zweiten Dämmerung. Bei dieser Benennung müssen wir aber noch eine Grenze feststellen. Betrachten wir in Fig. 1. das Flächenstück OPD_2B , so können aus dem durch dasselbe angedeuteten Raume Lichtstrahlen gerade s. w. egs in unsere Atmosphäre gelangen. Gehen wir aber weiter, über die Grenze PD_2 hinaus, so hört jene Möglichkeit auf. Ein Lichtstrahl, der von irgend einem Punkte unterhalb PD_2 ausgeht, kann unsere Atmosphäre nur dadurch erreichen, dass er unterwegs noch einmal reflectirt wird. Ehe er also in unser Auge gelangt, muss er wenigstens dreimal reflectirt sein. Daher beschränken wir das Licht der zweiten Dämmerung auf dasjenige, welches uns von dem Raume OPD_2B zugesandt wird, und das, was aus noch weiterer Ferne kommt, rechnen wir zur dritten Dämmerung. Wir könnten zwar auch in dieser wieder eine Abgrenzung machen und noch eine vierte Dämmerung unterscheiden, aber schon die

dritte ist so schwach, dass sie kaum der Berücksichtigung verlohnt.

Aus dem Vorstehenden ist klar, dass die zweite Dämmerung nicht etwa erst beginnt, wenn die erste aufhört, sondern schon von vorn herein mit dieser zusammenwirkt. Ja ihre Wirkung ist sogar während des Bestehens der ersten stärker als nachher, nur kann sie neben dieser nicht so deutlich hervortreten, und gewinnt erst mehr und mehr an Geltung, wie diese sich ihrem Ende nähert. Ist letzteres erreicht, so wirkt sie allein weiter und besteht dann etwa noch ebenso lange fort, als die erste Dämmerung gedauert hat, nämlich bis zu einer solchen Tiefe der Sonne, dass der ganze Raum OPD_2B verdunkelt ist. In der letzten Hälfte dieser Zeit ist ihr Licht aber schon so schwach, dass wir es nicht mehr bemerken können.

Dieser allmählig wachsende Einfluss der zweiten Dämmerung, noch ehe die erste verschwunden ist, so dass man deren Ende äußerlich gar nicht wahrnehmen kann, lässt sich deutlich in der oben angeführten Beobachtung von Lambert erkennen. Leiten wir nämlich die Bewegung des dunklen Segmentes am Himmel bloss aus der ersten Dämmerung ab, so ergiebt sie sich zwar, wie wir gesehen haben, als sehr ungleichförmig, aber in sofern findet wenigstens eine Regelmässigkeit statt, dass die Geschwindigkeiten auf der ersten und zweiten Hälfte des Weges einander entsprechen, so dass der Schatten genau in der Zeit vom Zenith bis zum Westhorizonte herabsinken muss, in welcher er vom Osthorizonte bis zum Zenith gestiegen ist. Dieser Schluss widerspricht aber der von Lambert gemachten Erfahrung. Etwa zur Zeit, wo die Sonne 6° unter den Horizont gesunken war, erreichte der Schatten das Zenith, also sollte man erwarten, dass er bei einer Tiefe der Sonne von 12° den westlichen Horizont erreicht und damit den letzten hellen Schein verdrängt haben würde. Das war aber nicht der Fall. Zu dieser Zeit hatte der helle Schein noch eine Höhe von über 5° und als die Sonne 15° tief gesunken war, stand jener noch $3\frac{1}{4}^\circ$ hoch. Weiter hat Lambert die Beobachtung nicht fortgesetzt, aber man konnte schon sehen, dass der Schein erst bei einer Tiefe der Sonne von mehr als 18° ganz verschwinden würde, was auch mit unserer früheren Angabe über das Ende der astronomischen Dämmerung übereinstimmt. Man sieht also, dass die erste Dämmerung, deren Ende wir im vorliegenden Falle ungefähr bei 12° Tiefe der Sonne annehmen müssen, zur Erklärung der Erscheinung nicht ausreicht, sondern die zweite mit hinzu gezogen werden muss. Diese macht den bei der Ausbreitung des Schattens am westlichen Himmel übrigbleibenden Licht-

schein heller und grösser, als er sonst sein würde, und nach dem Aufhören der ersten Dämmerung lässt sie allein ihn ohne merkliche Veränderung fortbestehen, und es bedarf noch langer Zeit, bis auch sie dazu zu schwach wird.

Man hat von den Dämmerungsbeobachtungen in der Naturforschung eine eigenthümliche Anwendung gemacht, nämlich zur Bestimmung der Höhe der Atmosphäre, wenigstens soweit diese noch fähig ist, Licht in wahrnehmbarer Stärke zu reflectiren. Gewöhnlich ist man dabei von der Thatsache ausgegangen, dass die astronomische Dämmerung aufhört, wenn die Sonne 18° unter dem Horizonte steht. Indem man nun meinte, dieser Zeitpunkt sei zugleich auch das Ende der ersten Dämmerung, gelangte man zu der Höhe von 9—10 Meilen, welche seitdem zuweilen auch in Lehrbüchern angeführt wird. Aus dem Vorigen wissen wir aber, dass bei einer Tiefe von 18° die erste Dämmerung längst vorbei ist, und daraus folgt, dass jene Höhe unrichtig, und zwar, wie man sich leicht überzeugen kann, wenn man näher auf die Rechnung eingeht, viel zu gross sein muss.

Geeigneter für diesen Zweck sind solche Beobachtungen, wie die Lambert'sche, wenn man die zu verschiedenen Zeiten gemessenen Höhen des hellen Scheins im Westen mit der jedesmaligen Tiefe der Sonne vergleicht. Aber auch hierbei ist der Einfluss der zweiten Dämmerung störend. In Lambert's Beobachtung beginnt die Reihe der genauen Messungen um $5^h 19^m$, und bei der ersten derselben meinte Lambert die zweite Dämmerung noch vernachlässigen zu können. Er wandte sie daher zur Berechnung der Höhe der Atmosphäre an, und erhielt als Resultat 3,9 Meilen, was wahrscheinlich wegen jener Vernachlässigung noch etwas zu gross ist. Wählt man die spätern Messungen, und vernachlässigt auch bei diesen die zweite Dämmerung, so wird das Resultat bei jeder folgenden immer grösser, wie es in einem der vorstehenden Aufsätze S. 240 nachgewiesen ist, wo diese Höhen wirklich berechnet sind, und sich auf S. 249 zusammengestellt finden. Wählt man dagegen die noch vor $5^h 19^m$, nämlich um $5^h 5^m$ aufgezeichnete Angabe, dass der Schatten das Zenith erreicht habe, zur Berechnung, so erhält man einen kleinern Werth, wie Lambert, und zwar 3,3 Meilen, welcher in sofern die meiste Wahrscheinlichkeit für sich hat, als bei ihm der mögliche Einfluss der zweiten Dämmerung am geringsten ist.

Aus diesen Resultaten können wir nun wohl mit ziemlicher Sicherheit schliessen, dass die Höhe der Atmosphäre zwischen 3 und 4 Meilen liege, und wahrscheinlich näher an 3 Meilen. Dabei

ist aber nicht zu vergessen, dass es sich hier nur um die Höhe der Atmosphäre, soweit sie noch merklich Licht reflectirt, handelt. Nimmt man z. B. an, wie es weiter oben geschehen ist, dass die Reflexion durch Dampfbläschen verursacht werde, so bedeutet jene Zahl nur die Höhe, bis zu welcher sich solche Bläschen in der Luft erheben, ohne über die Höhe der Luft selbst etwas zu bestimmen.

Die blaue Farbe des Himmels und die Morgen- und Abendröthe. Bei den bisherigen Betrachtungen über das von der Atmosphäre zurückgestrahlte Licht ist noch eine besondere Eigenschaft desselben unerwähnt geblieben, nämlich seine Farbe. Das schöne Blau des Himmels, welches uns bei jedem Blicke in die Natur entgegentritt, und das prachtvolle Schauspiel der Morgen- und Abendröthe mit seinen wunderbaren Farbenwechseln, haben von jeher einen tiefen Eindruck auf das Menschengeschlecht gemacht, und sie mussten daher auch, als man zuerst anfing, von der blossen Anschauung der Farben zu einer wissenschaftlichen Betrachtung derselben fortzuschreiten, ein Hauptgegenstand der Untersuchungen werden. Die Erklärung war aber nicht leicht, weil sich gar keine Anknüpfungspunkte an sonst bekannte Erscheinungen boten, die als sichere Grundlage hätten dienen können, und es giebt daher wenige Gegenstände in der Naturlehre, über die so viele, ganz von einander abweichende Ansichten geltend gemacht wären, als über diesen.

Ein erster Erklärungsversuch wurde zu Anfang des 16. Jahrhunderts von Leonardo da Vinci gemacht, und seine Ansicht, die zwar nach ihm noch einige Vertheidiger fand, später aber in Vergessenheit gerieth, ist in neuerer Zeit von Goethe mit besonderer Vorliebe wieder aufgenommen, der sie sogar als Urphänomen an die Spitze seiner Farbenlehre gestellt hat. *) Dieser betrachtet nämlich die Atmosphäre bloss als ein unvollkommen durchsichtiges oder trübes Mittel, und sagt nun, alle trüben Mittel haben die Eigenschaft, weisses Licht, welches man durch sie hindurch betrachtet, röthlich, dagegen die absolute, also schwarze Finsterniss blau erscheinen zu lassen. Das letztere finde auf den dunklen Weltenraum, das erstere auf das weisse Licht der Sonne Anwendung, besonders wenn diese in der Nähe des Horizontes stehe, so dass man nach ihr durch eine sehr dicke Luftschicht hindurchsehen müsse.

So sinnreich Goethe diese Theorie auch zu entwickeln gewusst

*) Farbenlehre I. S. 56 u. f.

hat, so liegt doch in ihrer Aufstellung eine solche Nichtachtung alles dessen, was über die Natur und Entstehung der Farben zu jener Zeit längst mit wissenschaftlicher Sicherheit ermittelt war, dass wir leider nichts zu seiner Vertheidigung entgegen können, wenn ein englischer Physiker sagt:*) „Noch später ward sie, — diese Lehre, — zur Schande der neueren Physik, unter den chromatischen Grillen von Goethe wieder in's Leben gerufen.“

Ausser diesem Versuche hat man, sofern wir von Munke's Behauptung, welcher das Blau des Himmels für eine optische Täuschung, für eine „bloss subjective“ Farbe erklärte, absehen, noch besonders drei verschiedene Ansichten aufgestellt, ohne sie jedoch immer scharf von einander zu sondern.

Die erste, von Newton angeregte, geht davon aus, dass die Lichtreflexion durch die in der Atmosphäre befindlichen Wassertheilchen bewirkt werde, und schliesst dann weiter, dass diese ihrer Kleinheit wegen die blaue Farbe durch Interferenz verursachen. Die beiden übrigen suchen den Grund der Farben in der Luft selbst, und zwar legt die eine der Luft eine schwach blaue Färbung bei, die sich aber erst in sehr dicken Schichten erkennen lasse, die andere sagt, die Luft habe die Eigenschaft, die in dem weissen Lichte enthaltenen blauen Strahlen in stärkerem Verhältnisse zu reflectiren, und dafür die rothen um so reichlicher durchzulassen.

Die letzte dieser Theorien, welche besonders von Bouguer und später mit grosser Vollständigkeit von Brandes**) behandelt worden ist, hat wohl die weiteste Verbreitung gefunden. Sie unterliegt jedoch noch einer bedeutenden Schwierigkeit. Wenn nämlich die Luft die Ursache der rothen Farbe des Morgens und Abends wäre, so müsste, da die Luftmenge, welche uns umgiebt, immer ziemlich gleich gross ist, die Sonne auch bei jedem Auf- und Untergange gleich roth erscheinen. Nun sagt zwar Brandes, die in der Luft befindlichen wässerigen Dünste, welche am Tage dem blauen Lichte viel Weiss beimischen, und dadurch ein milchiges Ansehen des Himmels verursachen, wie es in der Nähe des Horizontes fast immer stattfindet, und zuweilen auch das ganze Gewölbe überzieht, diese Dünste müssten auch ebenso bei Abend auf das Roth wirken, und es je nach ihrer Menge mehr oder weniger in's Weiss hinüberziehen. Darin liegt aber ein Irrthum. Wenn man nämlich sagt, die Dünste

*) Forbes. Transact. of the Royal Soc. of Edinb. Vol. XIV und Pogg. Annal. B. 51^a S. 51.

**) Gehler's phys. Woerterb. N. A. Art. Abendröthe.

erscheinen bei Tage, also bei weisser Beleuchtung, weiss, so heisst das, wie es auch Brandes ausdrückt, sie werfen das auf sie gefallene Licht unzerlegt zurück. Dieselben Dünste können also am Abende, wenn sie von rothem Lichte beleuchtet werden, auch nur rothes Licht reflectiren, und können der Abendröthe unmöglich Weiss beimischen. Es kommt bei dieser Theorie in Bezug auf die Farbe nur darauf an, einen wie weiten Weg die Lichtstrahlen, die zu unserem Auge gelangen, vorher durch die Luft zurückgelegt haben. Ob sie dabei unterwegs eine Reflexion an einem Dunsttheilchen erlitten haben, oder nicht, ist ganz gleichgültig. Demnach würde der Dunst, ebenso wie es die Wolken thun, wohl dahin wirken können, der Abendröthe eine grössere Ausdehnung über den Himmel zu geben, aber ihre Farbe würde sich immer gleich bleiben. Statt dessen wissen wir, dass diese Farbe an verschiedenen Tagen von einem gelblichen Weiss bis zum tiefen Roth in allen Nüancen abwechselt, und wir dürfen daher ihre Ursache nicht in etwas Beständigem, wie die Luft ist, sondern nur in etwas Veränderlichem suchen.

Zu jenen drei Erklärungsarten ist in jüngster Zeit noch eine neue hinzugekommen, welche durch eine besondere Beobachtung veranlasst wurde. Forbes*) nämlich, als er sich i. J. 1838 auf der Greenwich-Eisenbahn befand, blickte zufällig durch den aus dem Sicherheitsventile der Locomotive ausströmenden Dampfstrahl nach der Sonne hin, und bemerkte zu seinem Erstaunen, dass sie in tief orangerother Farbe erschien. Hierdurch aufmerksam gemacht, verfolgte er die Sache weiter, und wusste sich Gelegenheit zu einer genaueren Untersuchung derselben zu verschaffen, welche er dadurch ausführte, dass er bei Nacht aus einem Hochdruckdampfkessel nach Belieben Dampf ausströmen liess, und durch diesen das Licht einer Laterne betrachtete. Das Ergebniss war folgendes. Dicht über dem Ventile sah man das Licht durch den Dampfstrahl ganz unverändert. Bewegte man die Laterne aufwärts, so begann in der Höhe von einigen Zollen die orange Färbung, und wurde bis zur Höhe von etwa 20 Zoll immer tiefer, von da ab jedoch wurde sie bei noch vermehrter Höhe nur undeutlicher, indem der Dampf immer undurchsichtiger wurde, und zuletzt ganz das Ansehen von Wolken annahm. Wenn hier an einzelnen dünnen Stellen doch noch etwas Licht durchschien, so war es ganz weiss.

Hieraus zog Forbes den Schluss, das Wasser komme in der Luft in drei verschiedenen Formen vor, in der eigentlichen Gasform,

*) Transact. of the Royal Edinb. Soc. Vol. XIV und Pogg. Ann. B. 47 und 51^a.

in der es sehr durchsichtig und vollkommen farblos sei, ferner in der Form von Bläschen, die zu Nebeln und Wolken Veranlassung geben, und endlich in einer bisher noch unbekannten Form, die den Uebergangszustand zwischen jenen beiden bilde, und in der es die Fähigkeit besitze, weisses Licht roth zu machen. In diesem Uebergangszustande nun, meint er, befinde sich oft ein grosser Theil des in der Atmosphäre enthaltenen Wassers, und verursache dann die glänzenden Abendröthen. — In Bezug auf die blaue Farbe des Himmels dagegen schliesst er sich der Bouguer'schen Theorie an.

So sehr diese Betrachtungsweise bei der Darstellung von Forbes auch für sich einnimmt, so müssen wir doch versuchen, ob sich die in Rede stehenden Naturerscheinungen und ebenso jene Beobachtung nicht auch erklären lassen, ohne dass man einen neuen bisher unbekannten Zustand des Wassers zu Hülfe nimmt. Wir haben dazu um so mehr Grund, als wir oben gesehen haben, dass bei der Lichtreflexion in der Atmosphäre gerade die Bläschenform des Wassers eine wesentliche Bedingung bildet. Dadurch sind wir in Bezug auf das reflectirte Licht gewissermaassen gebunden, auch die Erklärung seiner blauen Farbe wo möglich aus derselben Form abzuleiten, und dieses gelingt in der That so leicht, und auch die rothe Farbe des durchgelassenen Lichtes schliesst sich so natürlich daran an, dass wir gerade darin eine Bestätigung jener Annahme, dass die Reflexion an Bläschen dampf geschehe, finden können.

Wir brauchen zu diesem Zwecke keine neue Erklärung zu suchen, sondern nur zu der schon von Newton aufgestellten, wonach die blaue Farbe durch Interferenz bewirkt wird, zurückzukehren, und sie etwas weiter auszuführen*). Wir haben gesehen, dass jedes Wasserbläschen in Bezug auf einen Lichtstrahl zu betrachten ist, wie zwei hinter einander befindliche dünne Wasserplatten. Nun ist es aber bekannt, dass dünne Platten von irgend einer durchsichtigen Substanz das auffallende weisse Licht in veränderter Farbe reflectiren, die je nach ihrer Dicke verschieden ausfällt. Wenn die Platte sehr dünn ist, unter einer gewissen Grenze, so reflectirt sie nur blaues Licht, nimmt die Dicke aber über jene Grenze hinaus zu, so wird das Licht weiss, dann gelblich weiss, orange, roth, violet, blau u. s. f., wie die Farben in den Newton'schen Ringen auf einander folgen. Auch das hindurchgehende Licht wird durch solche Platten geändert, aber in viel geringerem Grade, so dass es erst durch mehrere hinter einander stehende Platten von gleicher Dicke

*) S. Pogg. Ann. B. 76, S. 188.

gegangen sein muss, ehe man die Färbung merken kann. Bei sehr dünnen Platten, unter der vorher erwähnten Grenze, ist die Farbe, die dann erscheint, orange.

Dieses lässt sich nun leicht auf die Atmosphäre anwenden. Bei heiterem Wetter muss man annehmen, dass die noch vorhandenen Bläschen meistens sehr dünn seien, und diese können dann nur die erste Farbe, das Blau reflectiren, welches um so reiner und tiefer sein muss, je klarer das Wetter ist, d. h. je weniger Bläschen vorhanden, und je feiner diese sind. Bis hierher hat man die Uebereinstimmung der Theorie mit der Erfahrung auch stets anerkannt, aber für den Fall, wo die Luft feuchter wird und dadurch die Bläschen an Dicke zunehmen, hat man geglaubt eine Schwierigkeit zu finden, die man der Theorie oft entgegengehalten hat, und die doch nur auf einem Irrthume beruht. Man hat nämlich gesagt: wenn die Bläschen dicker werden, so müssen sie auch die anderen Farben der Reihe nach reflectiren, und daraus würde nach jener Erklärungsweise folgen, dass der Himmel nach Umständen jede beliebige Farbe statt des Blau annehmen könnte. So darf man die Sache aber nicht betrachten. Wenn die Luft feuchter wird, so werden allerdings die schon vorhandenen Bläschen dicker, zugleich aber bilden sich auch fortwährend neue dünne. Das Blau kann also nie aufhören zu erscheinen, sondern es treten nur durch die dicker werdenden Bläschen allmählig mehr und mehr andere Farben hinzu. Auf diese Weise erhält man zunächst eine Mischung von Blau und Weiss; darauf: Blau, Weiss, gelblich Weiss; dann: Blau, Weiss, gelblich Weiss, Orange u. s. f. Es kann somit keine der andern Farben sich allein geltend machen, sondern sie vermögen nur das erste Blau durch ihre Beimischung immer unbestimmter zu machen, und zuletzt ganz in Weiss zu verwandeln, und so ist auch wirklich der Vorgang, den wir in der Natur wahrnehmen, wenn die Atmosphäre anfängt trübe zu werden.

Ebenso wie das Blau des reflectirten Lichtes lässt sich auch das Roth des durchgelassenen aus den oben angeführten Eigenschaften dünner Platten erklären. Nach diesen ist nämlich das Orangeroth die erste Farbe, welche bei sehr feinen Bläschen entstehen muss, und dem reflectirten Blau entspricht. So lange jedoch die Sonne hoch am Himmel steht, ist ihre Färbung zu schwach, um sich kenntlich zu machen. Erst wenn sie zum Horizonte herabgesunken ist, und nun ihre Strahlen einen viel längern Weg in der Atmosphäre zurücklegen, und daher auch eine viel grössere Anzahl von Bläschen zu durchdringen haben, tritt die Farbe deutlich

hervor, und es bildet sich die Abendröthe, oder beim Aufsteigen der Sonne die Morgenröthe. Diese sind freilich nicht blos auf die Sonnenscheibe beschränkt, sondern verbreiten sich weit in der Umgegend, und zuweilen bis zur entgegengesetzten Seite des Himmels; aber das erklärt sich, wie schon erwähnt, einfach daraus, dass, wenn das Licht der Sonne einmal roth gefärbt ist, es auch Alles, was es beleuchtet, roth erscheinen lässt. — Das Ansehen der Morgen- und Abendröthe muss gerade so, wie das Blau des Himmels, vom Zustande der Atmosphäre abhängig sein, indem sich bei wachsender Feuchtigkeit ebenfalls mehr und mehr fremde Farben beimischen, welche die Reinheit des Roth stören, und es bis zu einem matten gelblichen Weiss abschwächen können. Somit ergiebt sich die in der Natur stattfindende Veränderlichkeit dieser Erscheinungen als eine unmittelbare Folge der Theorie, und zugleich ersieht man die Möglichkeit, auch umgekehrt aus der Farbe und dem Glanze jener auf den Zustand der Atmosphäre zu schliessen, und die kommende Witterung voraus zu bestimmen, wobei freilich noch mancherlei Nebenumstände berücksichtigt werden müssen, die das Urtheil erschweren und unsicher machen.

Wenden wir uns nun zu der Beobachtung von Forbes, so erklärt sich diese folgendermaassen. Dicht an der Oeffnung besteht der Dampfstrahl noch fast ganz aus gasförmigem Dampfe, welcher auf das Licht keine Wirkung übt. Weiter oben entstehen einige dünne Bläschen und verursachen die orange Färbung, welche bis zu einer gewissen Höhe bei Vermehrung der Bläschen immer tiefer wird. Noch weiter aufwärts aber fangen die Bläschen an, theilweise zu dick zu werden, um noch Orange zu geben, und es entstehen daher auch andere Farben, die durch ihre Beimischung jene erstere immer undeutlicher und weisslicher machen, bis der Dampf endlich wegen der starken Vermehrung der Bläschen ganz undurchsichtig geworden ist. — Diese Erklärungsart ist übrigens von der, welche Forbes gegeben hat, gar nicht so sehr verschieden, denn der Zustand, in dem nur ganz dünne Bläschen vorkommen, ist in der That ein Uebergangszustand zwischen der Gasform ohne Bläschen und der Nebelform mit allen Abstufungen von dünnen und dicken Bläschen durcheinander, nur dass dieser Uebergangszustand nicht etwas wesentlich Neues ist, sondern schon den Anfang der letztern Form bildet.

Ehe wir diesen Gegenstand verlassen, wollen wir noch eines Instrumentes erwähnen, welches Saussure *) eronnen hat, um die Tiefe

*) Mem. de Turin IV p. 409.

des Blau, welches der Himmel unter verschiedenen Umständen und an seinen verschiedenen Punkten zeigt, nicht bloss nach dem unbestimmten Eindrucke zu beurtheilen, sondern auf ein sicheres Maass zu bringen. Er verfertigte dazu eine Skale von 51 Schattirungen in Blau, welche vom Weiss bis zum vollkommenen Schwarz stufenweise an Dunkelheit zunahmen. Wollte er nun die Farbe an irgend einem Punkte des Himmels kennen lernen, so verglich er sie der Reihe nach mit jenen Schattirungen, bis er diejenige fand, die ihr am nächsten kam; was mit ziemlicher Sicherheit geschehen konnte.

Saussure selbst hat dieses Instrument, welches er Kyanometer — von *κύανος*, blau — nannte, häufig in den Alpen angewandt, und auch Humboldt hat ein solches auf seinen Reisen benutzt. Dadurch sind z. B. die Thatsachen, dass der Himmel auf hohen Bergen viel dunkler erscheint, als in der Ebene, und dass das Blau in südlicheren Ländern tiefer ist als bei uns, bestätigt, und der Grad der Verschiedenheit für mehrere Fälle gemessen. Ferner hat Humboldt bemerkt, dass der Himmel über dem Meere im Allgemeinen blasser ist, als im Innern von Festlanden, und an der Meeresküste konnte er sogar unterscheiden, dass der Himmel nach der Seeseite zu blasser erschien, als nach der Landseite*). Hieraus ersieht man, dass das Instrument die Unterschiede in der Feuchtigkeit der Luft ziemlich zuverlässig angiebt, und es könnte daher vielleicht zur Beurtheilung der Witterung, bei der die Feuchtigkeit von so grossem Einflusse ist, wenn es in Verbindung mit den übrigen meteorologischen Instrumenten sorgfältig angewandt würde, einen erheblichen Vortheil gewähren.

Polarisation des Himmelslichtes. Bald nach Entdeckung der Polarisation des Lichtes im Anfange dieses Jahrhunderts bemerkten mehrere Physiker, dass auch das vom Himmelsgewölbe kommende Licht polarisirt sei. Diese Wahrnehmung war besonders in sofern wichtig, als in ihr der Beweis lag, dass die Atmosphäre das Licht, welches sie zurückstrahlt, nicht in der Weise zerstreut, wie die Oberfläche eines beleuchteten rauhen Körpers, sondern dass eine regelmässige Reflexion in ihr vorgeht. Die Sache erweckte bald allgemeineres Interesse, und bei der Aufmerksamkeit, die ihr mehrere der geschicktesten Beobachter bis in die neueste Zeit gewidmet haben, ist noch manche unerwartete Eigenschaft zum Vorschein gekommen.

Beziehen wir zunächst die Polarisation auf dasjenige Licht,

*) Voyage aux etc. II. p. 123.

welches schon nach Einmaliger Reflexion in unser Auge gelangt, so lassen sich aus den gewöhnlichen Polarisationsgesetzen auf die Stärke der Polarisation an den verschiedenen Punkten des Himmels und die Lage der Ebenen, in welchen sie stattfindet, einfache Schlüsse ziehen. Nämlich, dass die Polarisation in den Theilen des Himmels, welche beinahe um einen Quadranten von der Sonne entfernt sind, am stärksten sein muss, dagegen in denen, welche die Sonne unmittelbar umgeben, und ebenso in denen, welche ihr gerade entgegengesetzt sind, und die sich also nur bei ganz niedrigem Stande der Sonne beobachten lassen, am schwächsten; und dass ferner die Ebene, in der das von irgend einem Punkte des Himmels kommende Licht polarisirt ist, mit derjenigen Ebene zusammenfallen muss, die durch diesen Punkt, die Sonne und das Auge des Beobachters geht.

Beides wird von der Erfahrung im Allgemeinen bestätigt. In letzterer Beziehung ist sogar kürzlich von Wheatstone ein auf jenem Gesetze beruhender Apparat angegeben, um an solchen Orten, wo man die Sonne nicht sehen kann, sondern den nördlichen Theil des Himmels vor sich hat, aus der Polarisationsebene des Himmelslichtes auf den Stand der Sonne und somit auf die Tageszeit zu schliessen: also gewissermaassen eine im Schatten anwendbare Sonnenuhr, von der man freilich keine grosse Genauigkeit erwarten darf, die aber doch nicht ohne Interesse ist, zumal, da durch sie eine bisher nur von den Physikern beachtete Naturerscheinung zum Gegenstande allgemeinerer Beobachtung werden kann.

Die Uebereinstimmung der Erfahrung mit jener einfachen Regel ist jedoch nicht ganz streng. Eine erste Abweichung entdeckte Arago.

Denken wir uns durch die Sonne einen Vertikalkreis am Himmel gelegt, so müsste in allen Punkten desselben das Licht in der Ebene des Kreises selbst, also senkrecht polarisirt sein. Statt dessen fand Arago, dass, wenn die Sonne eine niedrige Stellung hat, und man sich dann auf dem Vertikalkreise von Zenith aus ihrem Gegenpunkte nähert, die Polarisation zuerst in einem stärkeren Verhältnisse abnimmt, als man erwarten sollte und in einem gewissen Abstände vom Gegenpunkte ganz aufhört. Bei noch weiterer Annäherung tritt zwar wieder Polarisation ein, aber nicht mehr die senkrechte, sondern eine fast horizontale. Den Uebergangspunkt, der je nach dem Stande der Sonne 12° bis 25° vom Gegenpunkte entfernt liegen kann, nannte Arago einen neutralen Punkt.

Im Jahre 1840 fand Babinet, dass auch in dem nahe bei der Sonne und zwar etwas über ihr liegenden Theile des Vertikalkreises

eine horizontale Polarisation stattfindet, und erst in weiterer Entfernung die senkrechte beginnt. Wo die erstere aufhört, liegt auch hier ein neutraler Punkt. Endlich hat jetzt Brewster, durch die Theorie geleitet, nach vielen vergeblichen Versuchen, auch unter der Sonne dieselbe Abweichung von der Regel und einen dritten neutralen Punkt entdeckt.

Die Erklärung dieser Abweichungen ist nicht schwer. Indem wir nach irgend einer Stelle des Himmels blicken, erhalten wir von allen in dieser Richtung liegenden Theilen der Atmosphäre reflectirtes Licht, und es fragt sich nun, wo diese Theile selbst das Licht, welches sie reflectiren, herbekommen. Die Hauptquelle ist die Sonne, aber nicht wie bei der Aufstellung der obigen Regel über die Polarisationsebene angenommen wurde, die einzige, sondern ausserdem werden die Theile auch von der ganzen übrigen Atmosphäre und von der hellen Erdoberfläche beleuchtet. Dieses Licht kommt, da die Atmosphäre eine sehr flache horizontale Schicht bildet, von allen Seiten in beinahe horizontaler Richtung zu ihnen, und daraus folgt, dass es nach der Reflexion eine beinahe horizontale Polarisation haben muss. An solchen Stellen des Himmels nun, wo das directe Sonnenlicht nach seiner Reflexion ebenfalls nahe horizontal polarisirt ist, bewirkt jenes hinzukommende Licht keine Veränderung. In dem oben betrachteten Vertikalkreise aber, wo das erstere senkrecht polarisirt ist, wirkt die Polarisation des letzteren aufhebend, und wenn auch auf der grössern Strecke des Kreises die senkrechte Polarisation überwiegt, so gewinnt doch in der Nähe der Sonne und ihres Gegenpunktes, wo jene schon ohnehin sehr schwach ist, die horizontale das Uebergewicht.

Die Stärke der Polarisation ist nach übereinstimmenden Beobachtungen in der Mitte zwischen der Sonne und ihrem Gegenpunkte am grössten. Früher glaubte man sogar, sie sei dort total, was jedoch wegen der Mitwirkung jenes Nebenlichtes unwahrscheinlich war, und sich auch durch neuere Messungen von Brewster als unrichtig ergeben hat.

Die Polarisation an den verschiedenen Punkten des Himmels ist übrigens eine sehr wandelbare Erscheinung. Ausserdem, dass sie in bestimmter Beziehung zur Stellung der Sonne steht und sich daher mit dieser fortwährend ändert, müssen die in ihr vorkommenden Unregelmässigkeiten, und besonders die Lage der neutralen Punkte auch noch von dem Witterungszustande der Atmosphäre und von der Beschaffenheit der Erdoberfläche in einem gewissen Umkreise abhängig sein, denn von diesem hängt die Menge und Vertheilung

jenen zu den directen Sonnenstrahlen hinzukommenden Lichtes ab. Durch die Beobachtung hat man auch wirklich zuweilen erhebliche Verschiedenheiten in der Lage der neutralen Punkte bemerkt, die durch solche Umstände veranlasst waren.

Strahlenbrechung in der Atmosphäre.

Astronomische und terrestrische Strahlenbrechung beim gewöhnlichen Zustande der Atmosphäre. Da die Lichtstrahlen, so oft sie aus irgend einem durchsichtigen Mittel in ein anderes von verschiedener Dichte übergehen, gebrochen werden, so müssen auch die Strahlen, welche aus dem Weltenraume in die Atmosphäre eintreten, dabei ihre ursprüngliche Richtung verlassen, und selbst im Innern der Atmosphäre können sie nicht eine bestimmte Richtung beibehalten, weil die Luft nicht überall gleich dicht ist. Man nennt diese Ablenkung der Lichtstrahlen von ihrer geradlinigen Bahn, jenachdem sie sich an dem Lichte der Gestirne, oder an demjenigen, welches von fernen irdischen Gegenständen ausgegangen ist, äussert, astronomische oder terrestrische Strahlenbrechung. Sie sind beide nicht bloss von der allgemeinen Abnahme der Dichte in den höheren Regionen der Atmosphäre, sondern auch von mancherlei unregelmässigen, mehr örtlichen Verschiedenheiten, welche z. B. durch ungleiche Erwärmung verursacht werden, abhängig. Von den letzteren wollen wir indessen vorläufig absehen, und annehmen, die Atmosphäre befinde sich in ihrem normalen Zustande.

Sei NOP (Fig. 2.) ein Theil der Erdoberfläche und AZB die Grenze der Atmosphäre. In der Richtung nach S zu befinde sich ein Stern, und SC sei ein von ihm kommender Strahl. Dieser wird in der Atmosphäre etwas gebrochen, und zwar so, dass er mehr senkrecht geht, weil die Strahlen sich immer im dichteren Mittel der Normale nähern. Da nun aber die Atmosphäre bei C , wo der Strahl eintritt, nicht gleich ihre volle Dichtigkeit hat, sondern diese erst nach unten zu ganz allmählig erlangt, so kann auch nicht gleich bei C die ganze Brechung geschehen; vielmehr wird der Strahl sich bei seinem Fortschreiten mehr und mehr neigen und sein Weg eine stetig gekrümmte Curve bilden. Wenn sich nun in O , wo er die Erdoberfläche trifft, ein Beobachter befindet, so ist diesem die ursprüngliche Richtung des Strahles unbekannt; er hat nur ein Bewusstsein von derjenigen Richtung, in welcher derselbe in sein Auge dringt, und nach dieser beurtheilt er die Stellung des Sternes, d. h.

er glaubt ihn an dem Orte zu sehen, nach welchem die im Punkte O an jenen Bogen gelegte Tangente OS' weis't. Dadurch erscheint ihm jeder Stern etwas zu hoch.

Obwohl diese Abweichung meistens sehr unbedeutend ist, so forderte sie doch in der Astronomie, wo es auf die genaueste Bestimmung des wahren Ortes der Sterne ankommt, eine sorgfältige Berücksichtigung, und es haben sich daher viele der bedeutendsten Mathematiker damit beschäftigt, ihre Grösse unter verschiedenen Umständen mit möglichster Sicherheit zu berechnen.

Am stärksten ist sie, wenn sich der betrachtete Stern im Horizonte befindet, in welchem Falle man die Brechung *Horizontalrefraction* zu nennen pflegt. Sie beträgt dann durchschnittlich $33'$. Diese Grösse stimmt beinahe mit den Durchmessern der Sonnen- und Mondscheibe überein, und daraus folgt, dass, wenn sich diese ihrer wahren Stellung nach dicht unter dem Horizonte befinden, so dass sie ihn mit ihrem oberen Rande eben berühren, sie durch die Refraction vollständig über demselben sichtbar sind. Dadurch geschieht es, dass die Sonne uns jedesmal etwas zu früh auf- und zu spät untergeht, und somit die Länge der Tage vermehrt wird. Dieser Unterschied ist zwar in unseren Gegenden sehr gering, indem er sich nur auf 7 bis 9 Minuten beläuft; in höheren Breiten aber, wo die Sonne schräger und somit langsamer steigt und sinkt, wird er bedeutender. Zugleich verlängert er den in den Polargegenden stattfindenden langen Sommertag und verkürzt die lange Winternacht beide um mehrere Tage. Parry giebt z. B. an, dass ihm die letztere bei seiner Ueberwinterung auf Melville-Island, wo sie etwas über drei Monate dauern sollte, um 12 Tage abgekürzt sei.

Am augenfälligsten zeigt sich die Wirkung der Strahlenbrechung in einer Erscheinung, die man zuweilen bei Mondfinsternissen wahrgenommen hat. Man sah nämlich die Sonne und den beschatteten Mond beide zugleich über dem Horizonte, so dass es schien, als ob die Sonnenstrahlen ganz freien Zugang zum Monde hätten. Es lässt sich denken, was für ein Erstaunen diese Erscheinung erwecken musste, so lange man dabei an eine Abweichung von der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes nicht dachte, und Plinius, welcher eine solche Beobachtung anführt*), erklärt sie auch geradezu als etwas Widernatürliches.

Vom Horizonte aufwärts nimmt die Stärke der Refraction schnell ab, und zwar in dem Grade, dass, wenn die Sonne eben mit ihrem

*) Hist. nat. Lib. II, cap. 13.

unteren Rande scheinbar im Horizonte steht, dann dieser untere Rand um 33' und dagegen der obere nur um 28' über seinen wahren Ort erhoben ist. Dadurch wird die Entfernung des untersten und obersten Punktes von einander um 5', über $\frac{1}{7}$ ihres ganzen Werthes, verringert, während der horizontale Durchmesser ungeändert bleibt. Die Scheibe muss also statt der sonstigen kreisförmigen, eine etwas zusammengedrückte Gestalt zeigen, und dieses kann man auch oft an der Sonne und dem Vollmonde, wenn sie an einem freien Horizonte auf- oder untergehen, beobachten; doch bewährt es sich nicht jedesmal, weil überhaupt in den untern Theilen der Atmosphäre, wie wir noch sehen werden, die Strahlenbrechung mancherlei Aenderungen erleidet.

Mit der bisher betrachteten astronomischen Strahlenbrechung stimmt auch die terrestrische ganz überein. Ebenso wie wir einen Stern in der Nähe des Horizontes höher erblicken, als er wirklich steht, muss uns auch der Gipfel eines fernen Berges zu hoch erscheinen, wie man es bei Höhenmessungen auch gefunden hat, die dadurch bedeutend erschwert werden. Eine andere Wirkung der Refraction ist, dass die Entfernung, in welcher uns ein Berg wegen der Krümmung der Erdoberfläche verschwindet, grösser ist, als sie bei geradliniger Fortpflanzung der Strahlen sein würde, und dieselbe Wirkung macht sich auch umgekehrt geltend, wenn wir selbst uns auf einer Anhöhe befinden und eine weite ununterbrochene Fläche vor uns haben. Berechnen wir dann nach der Höhe unseres Standpunktes, wie weit wir möglicher Weise die kugelförmige Fläche übersehen könnten, wenn sich die Strahlen geradlinig fortpflanzten, so liegt der so bestimmte Horizont etwa um $\frac{1}{12}$ näher als der, den unser Auge wirklich erreicht.

Ungewöhnliche Senkung und Hebung des Horizontes. Im Vorigen wurde der normale Zustand der Atmosphäre vorausgesetzt, d. h. dass überall von der Erdoberfläche nach oben zu die Dichte gleichmässig abnehme, wie es durch den verminderten Druck bedingt wird. Wir müssen nun auch die Abweichungen von diesem Zustande betrachten, sofern sie auf die Wege der Lichtstrahlen Einfluss haben. Früher legte man in dieser Beziehung zuweilen auf die ungleiche Vertheilung der Feuchtigkeit ein besonderes Gewicht, indem man meinte, dass diese das Brechungsvermögen der Luft bedeutend ändern könne. Das scheint aber nicht der Fall zu sein, und die Feuchtigkeit hierbei wenig Berücksichtigung zu verdienen. Jedenfalls sind die durch die Wärme verursachten Abweichungen am wichtigsten.

Wenn sich z. B. bei hellem Sonnenscheine der Erdboden stärker erwärmt als die Atmosphäre, so theilt er auch der untersten Luftschicht seine Wärme mit. Diese steigt dann zwar, nachdem sie sich ausgedehnt hat, und dadurch leichter geworden ist, allmählig in die Höhe, und lässt kältere Luft herabsinken; wenn aber das Wetter ruhig und die Erwärmung des Bodens ziemlich gleichförmig ist, so geschieht diese Ausgleichung nur langsam, und die der Erde zunächst liegende Luftschicht kann fortwährend bedeutend wärmer sein, als die obere Atmosphäre. Eben so muss im entgegengesetzten Falle, wenn die Erdoberfläche aus irgend einem Grunde kälter ist, als die Atmosphäre, die untere Luft sich mit abkühlen, was um so vollständiger geschehen kann, als sie nach der Abkühlung kein Bestreben hat, aufwärts zu steigen.

Nehmen wir nun zuerst an, die Luft sei unten am wärmsten, so wird die Dichtigkeit in der Richtung von oben nach unten nahe bei der Erdoberfläche entweder weniger zunehmen, als sonst, oder sogar abnehmen, und dadurch werden sich auch die Bahnen der Lichtstrahlen in entsprechender Weise ändern. Bei starken Wärmeunterschieden entstehen daraus sehr auffallende Erscheinungen, die wir weiter unten betrachten werden; gegenwärtig aber wollen wir uns auf die nächste Folge beschränken, die auch schon bei geringer Erwärmung eintritt. Diese besteht darin, dass die sonstige Erweiterung unseres Gesichtskreises geringer wird, und selbst in eine bedeutende Verengung übergehen kann. Ferne Gegenstände, die sonst deutlich zu sehen waren, verschwinden dann, als ob sie durch die Krümmung der Erde verdeckt würden, und andere, vorher weit innerhalb des Gesichtsfeldes gelegene, scheinen an die Grenze desselben gerückt zu sein. Man pflegt diese Veränderung als eine Senkung oder Depression des Horizontes zu bezeichnen, weil die geraden Linien vom Auge nach den Punkten, welche den Horizont abschliessen, dann etwas tiefer von der wahren Horizontalrichtung abweichen, als sonst. Sie ist besonders auf der See sehr merklich, weil da der Horizont viel schärfer begrenzt ist, als auf dem Lande, und ist für den Schiffer der seine optischen Instrumente nach dem scheinbaren Horizonte richten muss, ein erheblicher Uebelstand. Ausser den Fällen, wo sie durch die Witterung auf kürzere Zeit hervorgebracht wird, findet sie z. B. über den Theilen des Golfstromes, deren Wärme die mittlere Temperatur der umgebenden Luft übersteigt, ziemlich regelmässig statt, was als Zeugniß für den Einfluss der Wärme bei dieser Erscheinung dienen kann.

Ist dagegen die untere Luft am kältesten, so sind alle Wirkun-

gen umgekehrt. Die Zunahme der Dichtigkeit nach unten hin wird verstärkt, und dadurch tritt eine Vermehrung der gewöhnlichen Erweiterung des Horizontes oder eine Hebung desselben ein. Dieses findet zuweilen in überraschendem Maasse statt. Man sieht dann z. B. am Meeresgestade gegenüberliegende ferne Küsten, welche sonst gar nicht, oder nur in ihren höchsten Theilen sichtbar sind, ganz über den Horizont hervortreten, so dass man sie bis zum Fusse herab erkennen und vielleicht noch andere entferntere Gegenstände sehen kann. Ich will hier einen besonders merkwürdigen Fall der Art anführen, welchen Latham an der englischen Küste des Canals beobachtet hat*).

„Ich sass am 26. Juli 1797 in meinem Speisesaale zu Hastings, welcher nahe an der Küste und beinahe nach Süden zu liegt, als das Zuströmen der Menschen nach dem Ufer meine Aufmerksamkeit rege machte. Als ich nach der Ursache fragte, hörte ich, dass sich die französische Küste dem blossen Auge zeige. In der That überzeugte ich mich davon am Ufer gleich selbst. Sogar mit nacktem Auge, ohne Teleskop, konnte ich die Klippen an der französischen Küste wahrnehmen, die, wo sie am nächsten liegt, 9 — 11 deutsche Meilen entfernt ist, und sonst auch mit Hülfe der besten Fernröhre von jenem niedrigen Standpunkte aus nicht zu sehen ist. Sie schienen kaum eine deutsche Meile abzuliegen, und sich einige Seemeilen längs der Küste hinzuziehen. Nachdem ich diesen Anblick fast eine Stunde lang genossen hatte, während der die Klippen zu einer Zeit deutlicher und näher, zu einer anderen schwächer und ferner zu sein schienen, doch nie aufhörten, sichtbar zu sein, erstieg ich die östlichen, ziemlich hohen Hügel, und hier zeigte sich mir ein herrlicher Anblick. Dover's Klippen und die ganze französische Küste von Calais an bis St. Valery, — ja wie einige Fischer behaupteten sogar bis nach Dieppe hin, — lag mir vor Augen, und mit dem Teleskop entdeckte man sehr deutlich die französischen Fischerböte, wie sie vor Anker lagen, und auf den Höhen die Häuser und die Farbe des Bodens etc.“

Das hier erwähnte scheinbare Näherrücken der Gegenstände, welches weiterhin noch bestimmter als eine Vergrösserung bezeichnet wird, findet sich zwar auch von einigen anderen Beobachtern bei ähnlichen Erscheinungen bestätigt, beruht aber wahrscheinlich überall auf einer Täuschung des Urtheils. Die Hebung über

*) Philos. Transact. for. 1798 p. 357, und Gilb. Ann. B. 4, S. 142.

den Horizont, woraus wir sonst auf die Nähe schliessen, und eine besondere Klarheit der Luft, die vielleicht dabei stattgefunden und die Deutlichkeit vermehrt hat, konnten leicht die Vorstellung einer grössern Nähe hervorrufen. Eine wirkliche Vergrösserung kann nur für eine Dimension, nämlich für die Höhe zugegeben werden, in welcher sie allerdings möglich war. Eine Vergrösserung in der Breitenrichtung würde aber unerklärlich sein.

Zu einer so auffälligen Wirkung, wie die vorstehende, sind natürlich ganz besonders günstige Umstände nöthig; in geringerem Maassstabe aber zeigt sich dergleichen häufig, und man kann sogar sagen, dass fast immer eine kleine Hebung oder Senkung stattfinden muss, da der vollkommen normale Zustand der Atmosphäre nur ein äusserst seltener Fall sein kann. Man hat für das ungewöhnliche Sichtbarwerden ferner Gegenstände auch im Volke eigene Ausdrücke. Bei den englischen Schiffen heisst es *looming*, und bei uns Kimmung, welche Namen freilich auch oft für andere verwandte Erscheinungen gebraucht werden.

Luftspiegelungen. Man findet bei vielen Völkern von den ältesten Zeiten her Erzählungen oder Andeutungen über wunderbare und täuschende Gesichte in der Luft, wodurch ferne Gegenstände verdoppelt wurden, oder auch neue in der Wirklichkeit gar nicht vorhandene erschienen. Die Nachrichten darüber sind freilich meistens so unvollständig, oder so sehr durch Aberglauben entstellt, und in's Märchenhafte gezogen, dass man wenig darauf geben kann; doch sind manche von ihnen, wenigstens ihrem Hauptinhalte nach, durch spätere ähnliche Beobachtungen hinlänglich bestätigt, und haben mit diesen zugleich auch ihre Erklärung gefunden. Bei anderen dagegen sind wir noch immer sowohl über die Erscheinung selbst, als auch über ihre Gründe ziemlich im Unklaren.

Zu dieser letzteren Klasse müssen wir besonders die Scheingestalten rechnen, welche sich zuweilen in Reggio über der Meerenge und auch an anderen Punkten der italischen und sicilischen Küste zeigen, und unter dem Namen *Fata Morgana*-Schlösser der Fee Morgana,—bekannt sind, indem sie durch ihre Seltsamkeit einen gewissen Ruf erlangt haben. Wir besitzen über sie keinen Bericht, der einigermaassen das Gepräge einer rein objectiven, vorurtheilsfreien Beobachtung an sich trüge. Selbst der Pater Minasi, der diese Erscheinung im J. 1773 zum Gegenstande einer wissenschaftlichen Arbeit machte, hat seiner Beschreibung, die aus mehrfacher

eigener Anschauung geschöpft sein soll, offenbar Manches aus seiner Phantasie beigemischt. Nach ihm *) „zeigen sich plötzlich in dem Wasser, wie auf einen katoptrischen Theater, — nach Anderen schweben die Gegenstände in der Luft, was auch Minasi später als eine zweite Art der Erscheinung anführt, — mannichfach vielfältigte Gegenstände, z. B. zahllose Reihen von Pfeilern und Bogen, bestimmt gezeichnete Schlösser, regelmässige Säulen, hohe Thürme, Palläste mit Fenstern und Balkons, lange Alleen von Bäumen und Ebenen mit Heerden bedeckt, ganze Schaaren von Fussvolk und Reitern und eine Menge anderer seltsamer Bilder in natürlicher Farbe und Haltung, welche sich während der kurzen Zeit ihrer Sichtbarkeit schnell nach einander über die Oberfläche der See hinbewegen.“

Der Hauptcharakter der Erscheinung, wie er sich aus dieser und anderen Beschreibungen ergibt, scheint darin zu liegen, dass man meistens Gebäude, also Gegenstände von regelmässiger geradliniger Construction zu sehen glaubt, und auch, wenn andere Objecte erscheinen, dieses immer mit einer gewissen Gleichförmigkeit und Regelmässigkeit geschieht, wie hier z. B. die Thiere gleich in ganzen Heerden, die Bäume in Alleen und die Menschen als Soldaten, und dass ferner die Bilder keine Beständigkeit haben, sondern ihre Gestalt fortwährend ändern, was hier als eine schnelle Bewegung, in anderen Beschreibungen aber geradezu als Verwandlung bezeichnet wird. — Von der Erklärung dieses Phänomens wollen wir für jetzt abstehen, da sich später noch ein Anknüpfungspunkt dazu finden wird, und wollen uns nun zu der anderen Klasse von Erscheinungen, den Luftspiegelungen im engeren Sinne, wenden.

Für die Entstehung derselben sind besonders solche Gegenden günstig, wo ausgedehnte Ebenen einer starken Sonnenhitze ausgesetzt sind, und sie zeigten sich daher z. B. bei dem ägyptischen Feldzuge unter Napoleon mit einer den Europäern bis dahin noch unbekannten Vollkommenheit. Der Mathematiker Monge, welcher an der Expedition Theil nahm, und diese Erscheinungen sogleich zum Gegenstande seines Nachdenkens machte, beschreibt sie folgendermaassen **).

„Ganz Unterägypten ist eine fast horizontale Ebene, auf der einige kleine natürliche und künstliche Hügel, doch nach der Wüste sparsamer als nach dem Delta zu, zerstreut liegen. Auf diesen

*) Gilb. Ann. B. 12, S. 20.

**) Memoires sur l'Egypt, und Gilb. Ann. B. 11. S. 29 Anmerk.

Hügeln hat man wegen der Ueberschwemmung die Dörfer gebaut, die, von Datteln und Feigenbäumen umringt, durch ihre dunkeln Umrisse auf dem sehr heitern Himmel von Weitem her in's Auge fallen. Abends und Morgens hat ihre Ansicht nichts Ungewöhnliches. Sobald aber der Boden nach Aufgang der Sonne bis auf einen gewissen Grad erwärmt ist, zeigt sich auf der Ebene, etwa eine franz. Meile vom Beobachter ab, bis an den Horizont rings umher eine allgemeine Ueberschwemmung, was bis zu der gegen Abend eintretenden Abkühlung der Erde fort dauert. Die über eine franz. Meile entfernten Dörfer sehen dann wie Inseln aus, die in einem grossen See zerstreut liegen, und sich darin herabwärts spiegeln. Freilich sieht man in dieser grossen Entfernung nur die Massen des Bildes ohne die kleineren Theile, und der Umriss ist unbestimmt wie in unruhigem Wasser. Sowie man sich indess einem solchen Dorfe nähert, entfernt sich das scheinbare Ufer; der Wasserspiegel diesseits des Dorfes wird immer schmaler, und verschwindet endlich ganz, während er bei den dahinter liegenden Dörfern nach wie vor bleibt: — eine in einer wasserlosen Wüste, wo man vom Durste gepeinigt wird, wahrlich marternde Täuschung.“

Dass diese Trugbilder in Afrika und in den arabischen Wüsten, wo sie Serab heissen, nichts Ungewöhnliches sind, ergiebt sich aus manchen Stellen dortiger Schriften, worin von ihnen als von etwas ganz Bekanntem gesprochen wird. So heisst es im Koran*): „Der Ungläubigen Werke sind dem Serab in der Ebene gleich, der Durstende hält es für Wasser, bis er hinkommt, und findet, dass es nichts ist“.

Sie sind indessen durchaus nicht auf jene heissen Gegenden beschränkt, sondern zeigen sich auch an anderen Orten je nach den Umständen mit grösserer oder geringerer Deutlichkeit. Besonders bekannt waren sie von jeher bei den Schiffen unter dem Namen Seegesicht, mirage — mit miroir zusammenhängend — etc. Denn obwohl das Meer in mancher Beziehung ihrem Entstehen wenig günstig ist, so hat es doch den grossen Vorzug, dass es eine vollkommen ebene Oberfläche darbietet. Man glaubt hier die fernen Gegenstände z. B. Schiffe oder Küsten nicht innerhalb eines zweiten Gewässers, sondern in der Luft schwebend zu sehen, und nimmt dicht unter ihnen ein umgekehrtes Spiegelbild wahr, welches zuweilen bis zum Wasserhorizonte herabreicht, zuweilen ebenfalls ganz in der Luft schwebt.

*) Sure 24.

Das Innere von Europa hat nur wenige Ebenen, die durch ihre gleichförmige Ausdehnung und sonstige Beschaffenheit zur Hervorbringung dieser Gesichte sehr geeignet wären; doch sind sie auch hier nicht so selten, als man vielleicht glaubt. In den meisten Fällen treten nämlich die Spiegelungen erst bei so fernen Gegenständen ein, dass man die genaueren Umrisse nur mittelst eines Fernrohres gewahr werden kann, und der unbestimmte Anblick, der sich dem blossen Auge darbietet, die Aufmerksamkeit zu wenig anregt. In einer französischen Schrift*) wird z. B. gesagt: „Die Bauern der Crau in der Provence kennen diese Erscheinung sehr wohl. Lou tems si miraillo, — das Wetter spiegelt sich, — sagen sie auf provençalisch in einem ziemlich gleichgültigen Tone, wenn die Ebene der Crau anfängt, sich in der Ferne dem Anscheine nach in einen See zu verwandeln.“

Als in der letzten Hälfte des vorigen Jahrhunderts das Interesse für diesen Gegenstand unter den Physikern rege geworden war, vermehrten sich auch gleich die Fälle, in denen man die Erscheinung wahrnahm. So erwähnt Büsch schon vom J. 1779 einen Anblick, der nach seiner Beschreibung**) selbst den ägyptischen Bildern an Deutlichkeit nichts nachgegeben haben kann. Er sah nämlich von Ottersberg aus, zwei Meilen von Bremen, diese letztere Stadt so unzweifelhaft hinter einer Wasserfläche liegen und sich darin spiegeln, dass seine Freunde das Wasser für die Weser hielten, und nicht wenig erstaunten, als sie den 6 Fuss hohen Ottersberger Damm hinauffuhren, und nun plötzlich statt des Wassers eine grüne Wiese bis an die Mauern der Stadt erblickten.

Den besten Aufschluss aber über die Häufigkeit der Erscheinung, wenn man sie nur mit gehöriger Aufmerksamkeit verfolgt, geben die Beobachtungen von Woltmann, welche sich eben so sehr durch die Zweckmässigkeit ihrer Anordnung, wie durch den Fleiss und die Consequenz ihrer Durchführung auszeichnen, und viel dazu beigetragen haben, die Erscheinung bis in ihre ersten Anfänge kennen zu lernen. Er wohnte zu Cuxhaven, und sah aus seinem Fenster jenseit des Hafens und der dahinter befindlichen weiten Bucht der Elbe, in einer Entfernung von etwa 2½ Meilen ein Haus stehen. Dieses wählte er zum Gegenstande seiner Beobachtungen, und betrachtete es über ein Jahr lang — vom September 1794 bis Ende October

*) Merveilles et beautés de la nature en France, siehe Gilb. Ann. 1818 St. 1, und Beiträge zur Kenniniss des Innern von Russland von Erdmann II. S. 310.

**) Tractatus duo optici argumenti, Hamb. 1783 und Gilb. Ann. B. 3, S. 294.

1795 — täglich dreimal durch das Fernrohr, ob eine Spiegelung daran zu bemerken wäre, womit er zugleich auch noch verschiedene andere auf das Wesen und die Ursache dieser Spiegelung bezügliche Beobachtungen verband. Aus seinen Aufzeichnungen ergibt sich nun unter Andern, dass er im J. 1794 im September an 19 Tagen, im October an 16 Tagen, im November an 8 Tagen und im December an 11 Tagen Spiegelung nach unten sah, wobei noch die Tage, an welchen es der trüben Witterung wegen zweifelhaft war, ausgelassen sind.

Was nun die Erklärung der Luftspiegelungen betrifft, so ist die richtige Idee dazu schon gegen das Ende des vorigen und zu Anfang dieses Jahrhunderts von mehreren Physikern ausgesprochen, aber vollständig entwickelt ist sie erst von Biot, welcher seiner ausführlichen mathematischen Bearbeitung*) auch noch eine Reihe eigener sehr lehrreicher Beobachtungen und Messungen vorausschickte, zu denen er durch die Umstände besonders begünstigt wurde, und die ihm dann eine sichere Grundlage der Theorie verschafften.

Sei AB (Fig. 3.) die Erdoberfläche, und es werde angenommen, dass unmittelbar über derselben, z. B. wegen grösserer Wärme des Bodens, die Luft dünner sei, als weiter oben. Dann wird sie vom Boden aus nach aufwärts, soweit der Einfluss des Bodens weicht, schnell an Dichte zunehmen, von da ab aber noch weiter nach oben wird, wenn nicht noch ein anderer Grund zu Unregelmässigkeiten vorhanden ist, der normale Zustand eintreten, d. h. sie wird mit wachsender Höhe an Dichte abnehmen, aber so langsam, dass dieses gegen die erste Zunahme kaum zu rechnen ist. Die Grenzfläche zwischen der unteren veränderlichen Schicht, und der oberen beinahe gleichförmigen sei CD . Betrachten wir nun den über CD liegenden hellen Punkt P , so pflanzt sich von da aus jeder Strahl innerhalb der obern Luft ziemlich geradlinig fort; wenn aber ein Strahl wie PE in die untere Schicht eindringt, so wird er in dieser gebeugt, und zwar so, dass er sich mehr und mehr der wagrechten Richtung nähert, bis er — in F — die Erdoberfläche trifft. Ist nun ein Strahl wie PG schon von vorn herein beinahe wagrecht, so kann es sein, dass er, bevor er die Erdoberfläche trifft, ganz wagrecht wird — bei H — und dann muss er sich auf dem weitem Wege wieder aufwärts krümmen, und der Weg HI muss dieselbe

*) Recherches sur les réfractions extraordinaires qui ont lieu près de l'horizon. Paris 1810. Eine abgekürzte Bearbeitung von Brandes in Gilb. Ann. B. 47.

Gestalt haben, wie HG , so dass der Strahl nach seinem Austritte aus der Schicht bei I gerade denselben Winkel mit der Ebene CD bildet, wie vor seinem Eintritt bei G .

Dieser letztere Umstand ist es, welcher dem beschriebenen Vorgange eine gewisse Aehnlichkeit mit der Reflexion des Lichtes giebt, obwohl er von dieser seinem Wesen nach ganz verschieden ist, und nur auf Brechung beruht *). Demnach ist es eigentlich auch unrichtig, die hieraus entstehenden Erscheinungen Luftspiegelungen zu nennen, da dieser Name eine Reflexion voraussetzt; sie sind aber in der That den wahren Spiegelungen so ähnlich, dass man sie durch eine Vergleichung mit diesen wenigstens äusserlich am besten bezeichnen kann. Denken wir uns nämlich jetzt statt des einzelnen hellen Punktes P einen Gegenstand PQ (Fig. 3a), und nehmen an, O sei das Auge eines Beobachters, so gelangt von jedem Punkte des Gegenstandes erstens ein directer Strahl zum Auge, wie PO und QO ; zweitens aber kann unter günstigen Umständen noch von jedem Punkte ein in die untere Schicht eingedrungener und weiterhin wieder ausgetretener Strahl zum Auge kommen, wie $PGIO$ und $QKLO$, welche die Vorstellung von einem zweiten Gegenstande derselben Art hervorrufen. Diese Strahlen müssen sich aber unterwegs — bei M — schneiden, und beim Auge so ankommen, dass der von P ausgegangene Strahl tiefer liegt, als der von Q ausgegangene, und da wir den Gegenstand immer nach der Richtung der ankommenden Strahlen beurtheilen, so werden wir ihn an der Stelle $P'Q'$ und in umgekehrter Stellung zu sehen glauben, also in ganz ähnlicher Weise, wie wenn CD eine Spiegelfläche wäre. Es ist übrigens nicht nothwendig, dass das Auge und der Gegenstand, wie bisher angenommen wurde, sich beide oberhalb der veränderlichen Schicht befinden. Reicht diese Schicht bis über sie hinaus, so tritt dadurch nur der Unterschied ein, dass auch die aufrechte Gestalt, welche wir sehen, sich nicht genau an der Stelle zeigt, wo der Gegenstand wirklich ist, sondern etwas tiefer.

Die vollständigen Untersuchungen von Biot haben nun zu folgenden Resultaten geführt. Sei AB (Fig. 4.) wiederum die Erdoberfläche, und zwar eine weite Strecke eines recht ebenen Bodens,

*) Soll eine Vergleichung zwischen dieser durch Brechung verursachten Zurücklenkung der Strahlen und der Reflexion stattfinden, so würde dazu noch am meisten die totale Reflexion, welche im Innern eines dichteren Mittels bei sehr schrägem Einfall vor sich geht, geeignet sein.

und in O befinde sich das Auge eines Beobachters. Ein von O aus schräge abwärts gehender Strahl wird, wenn er wenig geneigt ist, den Erdboden gar nicht erreichen, sondern wieder aufwärts gebogen werden, und unter diesen Strahlen sei OC der tiefste, welcher gerade noch an der Erdoberfläche vorbei streift, ohne sie wirklich zu berühren und von ihr aufgefangen zu werden, so dass er seinen Weg über C hinaus nach D zu fortsetzen kann. Unterhalb des zweiten Theiles dieses Strahles wird nun durch die Theorie noch eine andere wichtige Curve bestimmt, welche jene in der Nähe von C berührt und in der Figur durch CE dargestellt ist, und welche mit CD zusammen folgende Eigenschaften hat. Alle unter CE gelegenen Punkte sind unfähig, irgend einen Strahl zum Auge in O gelangen zu lassen und sind also für dieses durchaus unsichtbar. Von jedem Punkte zwischen CE und CD kommen dafür auf zwei verschiedenen Wegen Strahlen zum Auge, und diese Punkte erscheinen daher doppelt, wie in der vorigen Figur die Punkte P und Q . Endlich von jedem Punkte oberhalb CD erhält das Auge nur Strahlen von Einer Richtung, und diese Punkte kann es daher auch nur einfach sehen.

Nehmen wir nun z. B. an, zu Ende der Strecke AB (Fig. 4.) befinde sich ein kleiner Hügel mit Häusern und Bäumen, welcher von jener Curve CE in F getroffen werde, so dass sein Gipfel zwischen CE und CD liege, so können wir aus dem Vorigen leicht schliessen, welcher Anblick sich dem Auge in der Richtung nach B zu darbieten muss. Den Erdboden kann man nur bis C sehen, indem die folgenden Punkte unter CE liegen. Man würde daher C für die Grenze des Horizontes halten, wenn man nicht noch weit hinter diesem Punkte den obern Theil des Hügels erblickte. In der Lücke zwischen beiden sieht man nun dicht unter dem letzteren sein umgekehrtes Bild mit den darauf befindlichen Häusern und Bäumen, und ausserdem an allen Stellen, die dadurch noch nicht ausgefüllt sind, das Bild des hinter dem Hügel sichtbaren Himmels. Dieses letztere stellt sich dem Auge als ein heller blauer Schein dar, welcher sich an den Hügel anschliesst und sein Bild umgiebt, und kann daher leicht die Vorstellung einer Wasserfläche erwecken, welche von C ab beginnt, und aus welcher der obere Theil des Hügels als Insel hervorragt, — ganz so wie es die französische Armee in Aegypten und Büsch vor Bremen wirklich gesehen haben.

Wird die Beobachtung auf dem Meere angestellt, so ist AB selbst schon eine Wasserfläche, und man kann daher das von C ab beginnende Bild des Himmels nicht gut für ein zweites helleres

Wasser halten, sondern betrachtet *C* wirklich als die Grenze des Horizontes, von wo ab die Himmelsfläche beginnt, und die noch sichtbaren oberen Theile von Gegenständen, die hinter *C* liegen, scheinen mit ihrem Spiegelbilde in der Luft zu schweben, falls das letztere nicht bis zum scheinbaren Horizonte herabreicht. Zuweilen glaubt man aber auch Gegenstände, besonders ferne Küsten blos vom Horizonte losgelöst, in der Luft schweben zu sehen, ohne ein Bild darunter wahrnehmen zu können. Dieses beruht häufig auf einer Täuschung, indem man das Spiegelbild, welches sich dicht an die wahre Gestalt anschliesst, nur nicht von dieser unterscheiden kann; in manchen Fällen kommt es jedoch nach Biot's Erklärung daher, dass das Spiegelbild in seinen Längendimensionen unter Umständen viel kleiner, als die wahre Gestalt sein kann, und sich dann oft nicht mehr erkennen lässt.

Da der Zustand der Luft nie ganz beständig ist, und es besonders dann nicht sein kann, wenn die am stärksten verdünnte und also leichteste Luft am untersten liegt, weil diese dann immer das Bestreben äussert, nach oben zu steigen, und dadurch Bewegungen verursacht, so treffen die Strahlen, die von irgend einem Punkte aus durch die veränderliche Schicht zum Auge gehen, dieses nicht immer in derselben Richtung. Daher kommt es, dass die Bilder oft ein unbestimmtes, zitterndes Ansehen haben, was Monge mit der Spiegelung in einem etwas bewegten Wasser vergleicht. Dieser Umstand tritt auch oft bei der wahren Gestalt der Gegenstände ein, und verursacht selbst in solchen Fällen, wo gar keine Spiegelung stattfindet, das bekannte scheinbare Zittern der Luft, welches man an warmen Tagen häufig wahrnimmt. Es ist indessen alsdann nicht die Luft, welche zittert, denn davon würden wir gar nichts bemerken, eben so wenig wie wir die Luft selbst sehen können, sondern es scheinen nur wegen der veränderlichen Brechung der Lichtstrahlen in der bewegten ungleich dichten Luft die Ränder der Gegenstände zu zittern.

Im Bisherigen wurde angenommen, die Luft sei in der Nähe des Erdbodens wärmer, als weiter oben, und daraus wurden die unterhalb der Gegenstände erscheinenden Spiegelungen abgeleitet; demgemäss muss man nun auch für den entgegengesetzten Fall, wo die untere Luft am kältesten ist, und in einiger Höhe ein Uebergang zu merklich wärmerer Luft stattfindet, Spiegelungen nach oben erwarten. In der That kommen diese auch vor, doch scheinen die dazu nöthigen Bedingungen bei uns verhältnissmässig sehr selten einzutreten. Woltmann z. B. hat bei seinen vielen Beobachtungen,

welche ihm die Spiegelungen nach unten so oft zeigten, doch nur dreimal deutliche Spiegelungen nach oben wahrgenommen. Die vollständigste früher bekannte Erscheinung der Art, welche bis vor Kurzem noch ziemlich vereinzelt dastand, ist diejenige, welche der Professor Vince im J. 1798 an der englischen Küste zu Ramsgate beobachtet hat. Dieser bemerkte nämlich an einem sehr schwülen Nachmittage, als er die auf dem Meere sichtbaren Schiffe durch ein Fernrohr betrachtete, dass über jedem derselben ein mehr oder weniger vollständiges umgekehrtes Bild schwebte, und ebenso auch über fernen Klippen, und er konnte diese Bilder mehrere Stunden hindurch gleich deutlich erkennen. Zuweilen zeigte sich sogar über dem verkehrten Bilde noch ein zweites, welches dann wieder aufrecht stand. Dieses letztere lässt sich nach der Biot'schen Theorie ebenfalls erklären, doch kann es nur unter sehr günstigen Umständen erscheinen, und wird daher äusserst selten gesehen.

In neuerer Zeit sind unsere Erfahrungen über die Spiegelung nach oben bedeutend vermehrt durch Scoresby's Reisen auf den Wallfischfang, welche auch in anderer Beziehung für die Wissenschaft von grossem Nutzen gewesen sind. In den Polarmeeren verbreiten nämlich die grossen Eismassen eine enorme Kälte um sich, und können auch im Sommer durch die auf sie fallenden Sonnenstrahlen nur wenig erwärmt werden, da deren Wärme fast ganz durch das theilweise Schmelzen absorbirt wird. Die oberen Luftschichten dagegen erfahren während der Zeit, wo die Sonne Tag und Nacht am Himmel steht, von dieser eine bedeutende Wirkung, so dass an hellen und ruhigen Tagen fast immer der Zustand eintreten muss, dass die untere Luft kälter ist als die obere. Diese Gegenden sind daher für die Spiegelung nach oben besonders geeignet, wie sie überhaupt durch ihre starken Wärmedifferenzen die ungewöhnlichen Lichtbrechungen sehr begünstigen, und dadurch auch noch zu anderen merkwürdigen Erscheinungen Veranlassung geben. Diese letzteren wollen wir weiter unten betrachten, und vorläufig bei den Spiegelungen stehen bleiben, über welche hier einige Stellen von Scoresby folgen mögen.

„Am 19. Juni *) war das Wetter ruhig und klar, die Sonne warm und fast drückend. Die See reflectirte die Gegenstände so genau, wie ein Spiegel, indem ihre Oberfläche stundenlang von

*) Journal of a voyage to the Northern Whale-fishery, including researches and discoveries on the eastern coast of West-Greenland, made in the summer of 1822 etc. by W. Scoresby jun. Edinb. 1823. p. 117.

keinem Winde bewegt wurde. Die starke Wirkung der Sonnenstrahlen brachte bald eine so ungleiche Dichte in der Atmosphäre hervor, dass sich die durch diesen Umstand bedingten Erscheinungen in ausserordentlicher Weise zeigten. Ueber einigen entfernten Schiffen schwebte ein umgekehrtes Bild in der Luft, zuweilen grösser als das Object selbst: dann befand es sich in einigen Beispielen in beträchtlicher Höhe über dem Schiffe; wenn es aber mit dem Schiffe in Berührung war, so fand man es immer kleiner, als das Original. Das Bild Eines Schiffes war mehrere Minuten lang deutlich zu sehen, obwohl das Object, zu dem es gehörte, ausserhalb des Gesichtsfeldes war. Ein Schiff war mit zwei Bildern gekrönt, das erste verkehrt, und das zweite, wie ich es nie vorher gesehen hatte, in seiner wahren Stellung.“ etc.

Den 18. Juli *). — Siehe hiez u Fig. 5. — **). Nachdem Scor. vorher gesagt hat, dass an dem vorigen Tage alle Gegenstände etwas undeutlich und verwirrt erschienen seien, fährt er fort: „Aber an diesem Abende, etwa um 9 Uhr, waren die Schiffe mit ihren wiederholten Bildern sehr schön und deutlich begrenzt, und besonders die letzteren, welche wie gewöhnlich in verkehrter Stellung in der Luft erschienen. Ueber einigen Fahrzeugen, deren Rumpfe hinter dem Horizonte waren, zeigten sich zwei, und über Einem Schiffe drei deutliche, verkehrte Bilder, jedes in einem besonderen, durch die Refraction erscheinenden Streifen Eis befindlich, eins über dem anderen, indem das unterste Bild eine Erhebung von mehr als der Höhe des Schiffsmastes über dem Mastkorbe des Originals hatte. Auch sah man von zwei Schiffen wohl begrenzte Bilder in umgekehrter Stellung, ohne dass die Schiffe, zu denen sie gehörten, sichtbar waren.“

Noch verdient hier ein Fall, besonders wegen des darin obwaltenden merkwürdigen Zufalls, Erwähnung. Am 24. Juli nämlich erblickte Scor. durch sein Fernrohr in einer Richtung, wo kein wirkliches Schiff zu sehen war, das umgekehrte Bild eines solchen, welches in der Luft schwebte, und sich durch seine ausserordentliche Schärfe auszeichnete, so dass er es trotz der sehr grossen Entfernung in allen Einzelheiten erkennen konnte. Dabei über-

*) A. a. O. pag. 164.

**) Bei dieser und der 7ten Figur muss bemerkt werden, dass nicht Alles, was sich darauf befindet, gleichzeitig und in einen so kleinen Raum zusammengedrängt gesehen wurde, sondern Scor. hat auf jeder solchen Platte möglichst viele Erscheinungen, die er während eines Tages an verschiedenen Punkten beobachtete, zusammengefasst.

zeugte er sich, dass das Bild zu dem Schiffe seines Vaters gehörte, obgleich er sonst gar nicht wusste, dass dieser sich in seiner Nähe befinde. Das Schiff kam nicht wirklich zum Vorschein, aber eine spätere Vergleichung der Tagebücher bestätigte seine Vermuthung vollständig, und ergab zugleich, dass das Schiff damals eine Entfernung von ihm gehabt hatte, die über doppelt so gross war, als die Weite seines Horizontes ohne Refraction.

Die im Vorigen erwähnte Thatsache, dass sich über manchen Schiffen zwei bis drei Bilder zeigten, welche alle umgekehrt waren, scheint der Theorie zu widersprechen, da nach dieser, wenn wirklich ein zweites Bild entsteht, es ein aufrechtes sein muss. Ich glaube aber, dass man durch eine geringe Erweiterung der Betrachtungsweise auch jene unter sich gleichartigen Bilder erklären kann. Bisher wurde immer stillschweigend angenommen, dass die Verdünnung der Luft von unten nach oben so geschehe, dass die Flächen gleicher Dichte durchweg horizontal seien. Diese Bedingung kann nun zwar unter günstigen Umständen sehr nahe, aber nie vollkommen erfüllt sein, sondern es werden immer kleine Krümmungen vorkommen, wodurch die Flächen an verschiedenen Stellen verschiedene Richtungen erhalten, und diese Abweichungen sind es, die jene Erscheinung veranlassen können. Sei z. B. *CDE* (Fig. 6.) eine solche Fläche, die bei *D* ihre Richtung ändere, so kann möglicherweise jeder der beiden Theile *ED* und *DC* von dem in *P* befindlichen Gegenstande ein Bild erzeugen, welches dem Auge in *O* sichtbar ist, und diese Bilder werden beide umgekehrt eins über dem anderen erscheinen, eben so, als wenn *ED* und *DC* zwei etwas gegen einander geneigte Spiegelflächen wären. Bedenkt man nun, welche grosse Ausdehnung die Fläche *ED* haben muss, da die gespiegelten Gegenstände immer um mehrere Meilen vom Beobachter entfernt sind, indem *Scor.* ausdrücklich sagt*): „Und es muss bemerkt werden, dass diese Erscheinungen hauptsächlich teleskopisch waren, indem die Schiffe und ihre Bilder so entfernt waren, dass sie dem nackten Auge nur als unbestimmte Punkte erschienen;“ — und erwägt man dazu, wie gering die Richtungsänderung nur zu sein braucht, um ein zweites getrenntes Bild möglich zu machen, so sieht man leicht, dass zwischen dem Gegenstande und dem Auge sehr gut mehrere solche Aenderungen stattfinden, und zu mehreren Bildern Veranlassung geben können.

Ausser diesen Spiegelungen zeigen sich in den Polarmeeren,

*) A. a. O. pag. 165.

wie schon oben erwähnt, noch andere von der unregelmässigen Brechung abhängige Erscheinungen. Dahin gehören zunächst die scheinbaren Gestaltveränderungen entfernter Gegenstände. Es kommt nämlich oft vor, dass die letzteren, besonders die in der Umgegend befindlichen Schiffe, selbst solche, die dem Beobachter noch nahe genug liegen, um sie unter gewöhnlichen Umständen mit blossen Augen recht gut erkennen zu können, ganz verzerrt erscheinen, indem einige Theile stark ausgedehnt und andere dafür wieder fast bis auf nichts zusammengedrückt sind, wie es in Fig. 7. an einigen Schiffen dargestellt ist. Häufig kommt dazu noch eine zitternde Bewegung der Ränder, welche das deutliche Erkennen noch mehr erschwert, so dass Scor. die Lichtbrechung in dieser Beziehung als eine unangenehme Belästigung der Schiffer bezeichnet, indem ihnen dadurch oft Beobachtungen, die für sie von der grössten Wichtigkeit wären, ganz unmöglich gemacht würden.

Noch merkwürdiger sind aber die Erscheinungen, welche sich unter gleichen Umständen bei den entferntesten Gegenständen, besonders bei den Eisbänken und Küsten, welche den Horizont begrenzen, zeigen. Diese nehmen dann in ihren einzelnen Theilen ganz neue, seltsame Gestalten an, die aber meistens eine gewisse Aehnlichkeit mit grossartigen Bauwerken haben, so dass das Ganze gewöhnlich das Ansehen einer entfernten prächtigen Stadt gewinnt. Die Beschreibungen, welche Scor. davon giebt, sind um so interessanter, als sie vollständige Seitenstücke zu denen bilden, welche wir über die räthselhaften *Fata Morgana* besitzen, aber ohne die störenden Phantasieausschmückungen. Es sind nachstehend einige Stellen der Art angeführt, wobei man auch die in Fig. 7. mitgetheilte Zeichnung von Scor. vergleichen kann.

„Die Berge *) längs der Küste nahmen die wundersamsten Formen an: das Ansehen von Schlössern mit luftigen Spitzen, Thürmen und Zinnen verwandelte sich in wenig Minuten in einen grossen Bogen oder eine romantische Brücke. Diese vielfachen oft schönen Verwandlungen liessen fast an die Wahrheit der Feengeschichten glauben. Ich sah nie vorher eine so mannichfaltige und amüsante Erscheinung.“

„Am Abende **) — des 10. Juni — war es ruhig, bei glänzendem Sonnenscheine und unter vielen sonderbaren Erscheinungen der

*) An account of the Arctic regions with a history and description of the Northern Whale-fishery by W. Scoresby. Edinb. 1820. I, p. 386.

**) Journal of a voyage etc. p. 96.

ungleichen Refraction. Eishügel nahmen die Formen von Schlössern, Obelisksen und Thürmen an, und das Land zeigte aussergewöhnliche Gestalten. An einigen Stellen war das ferne Eis so unregelmässig, und schien so voll von Spitzsäulen, dass es einem Walde von nackten Bäumen glich, an anderen hatte es den Charakter einer ausgedehnten Stadt voll von Kirchen, Schlössern und öffentlichen Gebäuden.“ etc.

„Der ganze Vorgang *) gleicht oft einem grossen und interessanten Phantasiespiele. Kaum lässt sich das Ansehen eines Gegenstandes vollständig prüfen und bestimmen, ehe er sich in etwas anderes verwandelt. Er ist vielleicht nach einander ein Schloss, eine Kathedrale oder ein Obelisk; dann, indem er sich ausdehnt und mit den benachbarten Bergen verbindet, überwölbt er die dazwischen liegenden Thäler, obgleich ihre Breite Meilen hetragen mag, durch eine Brücke mit einem einzigen Bogen von dem prachtvollsten Ansehen.“

Was nun die Erklärung dieser sonderbaren Erscheinung betrifft, so glaube ich, dass man dieselbe unmittelbar an diejenige anschliessen kann, welche weiter oben von der mehrfachen umgekehrten Spiegelung gegeben wurde. Zur Erzeugung deutlich getrennter Bilder dürfen nämlich in den Flächen gleicher Dichte nur wenige und geringe Krümmungen vorkommen. Wird die Gleichförmigkeit der Richtung in ihnen noch weiter gestört, so dass sie sich mehr und mehr mit wellenförmigen Erhebungen und Vertiefungen bedecken, so ändern sich auch ihre Wirkungen auf das Licht, und in welcher Art dieses geschehen muss, kann man am leichtesten aus der Vergleichung mit einer bekannten anderen Erscheinung schliessen, bei der ziemlich ähnliche Umstände obwalten. Betrachtet man nämlich in einem Wasserspiegel bei Abend das Bild eines entfernten Lichtes, so zeigt sich dieses, wenn das Wasser ruhig ist, sehr gut begrenzt; ist aber die Wasserfläche etwas bewegt, so verwandelt es sich in einen senkrechten Lichtstreifen von bedeutender Länge. Dieser entsteht offenbar dadurch, dass man statt des sonstigen Einen Bildes jetzt sehr viele dergleichen sieht, deren jedes von einer besondern Welle reflectirt ist, und dass diese sich so dicht an einander schliessen, dass sie nicht mehr einzeln erkannt werden können, sondern einen zusammenhängenden Streifen bilden. Nun erhebt sich freilich die Frage, warum dieser Streifen gerade senkrecht sein muss und nicht auch jede andere Richtung haben kann,

*) A. a. O. pag. 167.

oder warum sich überhaupt ein Streifen, und nicht vielmehr ein kreisrunder Lichtfleck bildet; aber darauf lässt sich durch eine einfache geometrische Betrachtung antworten, von der wir indessen hier nur das Resultat anführen wollen. Denken wir uns statt des Lichtes einen einzelnen leuchtenden Punkt, so kommen bei ruhigem Wasser nur in Einer Richtung reflectirte Strahlen zum Auge, und diese sei als die Hauptrichtung bezeichnet. Bei etwas bewegtem Wasser erhält das Auge auch aus anderen von jener etwas abweichenden Richtungen reflectirte Strahlen, aber diese Abweichungen sind, wenn die Wellen sehr flach sind, und das Licht im Verhältniss zu seiner Höhe über der Wasseroberfläche sehr entfernt ist, nicht nach allen Seiten gleich gross, sondern nach oben und unten viel grösser, als nach rechts und links. Sei z. B. angenommen, das Licht und das Auge befinden sich gleich hoch, und ihre Entfernung von einander sei 100mal so lang als ihre Höhe über der Wasseroberfläche, so lässt sich zeigen, dass jene ersteren Abweichungen etwa 50mal grösser sind, als die letzteren. Alle diese Strahlen bringen nun im Auge den Eindruck eines grösseren hellen Raumes, statt des bei ruhigem Wasser gespiegelten Lichtpunktes hervor. Dieser Raum ist aber nicht kreisförmig, sondern in senkrechter Richtung 50mal länger, als in wagrechter, und bildet also einen schmalen senkrechten Streifen. Wenn die Wellen nicht, wie vorher angenommen wurde, sehr flach bleiben, sondern in ihrer Krümmung etwas zunehmen, so wird zwar dadurch auch jenes Verhältniss geändert, indem es geringer wird, aber der gespiegelte Lichtfleck behält doch noch immer eine stark in die Länge gezogene Gestalt.

Dasselbe lässt sich nun auf den oben bezeichneten Fall der Luftspiegelung übertragen, denn wenn auch bei diesem die Wege der Lichtstrahlen durch die verschiedenartigen Krümmungen noch viel mannichfaltiger werden, als bei der einfachen Reflexion, so wird doch im Allgemeinen die Tendenz vorwalten, ferner helle Punkte, die in diesen Fällen gewöhnlich mit ihren Spiegelbildern in Berührung bleiben, in senkrechte Streifen zu verwandeln. Denkt man sich nun dieses an einer den Horizont begrenzenden Eismasse ausgeführt, so kann man sich sehr wohl vorstellen, dass in der grossen Entfernung, bei der es sich nicht mehr um genaue Ausführung, sondern nur um Andeutung der Figuren handelt, die Streifen als Säulen, Obelisk und Thürme erscheinen können; ebenso ein grösseres in seiner ganzen Breite nach oben ausgedehntes Eisstück, von dem vielleicht einzelne Theile in noch höhere Spitzen ausgezogen sind, als ein mit Thürmen versehenes Schloss; ferner

das einfache Spiegelbild einer Eisbank, welches in der Luft schwebt, und sich vielleicht an beiden Seiten wieder an grössere Massen anschliesst, als eine Brücke oder ein anderer künstlicher Bogen u. s. w.; so dass man im Ganzen eine Stadt mit vielen ausgezeichneten Gebäuden in der Ferne zu sehen glaubt. — Dass dieser Anblick sich nach den Beschreibungen von Scor. häufig und schnell hinter einander ändert, bedarf kaum einer Erklärung, denn es versteht sich von selbst, dass der Zustand der Atmosphäre um so veränderlicher sein muss, je unregelmässiger er ist.

Kehren wir nun zu den *Fata Morgana* zurück, so können wir wohl aus der äussern Aehnlichkeit derselben mit den vorigen Erscheinungen auch auf eine Aehnlichkeit in der Entstehungsart schliessen. Demnach müssten wir annehmen, dass über der Meerenge bei Reggio aus irgend welchen, vielleicht lokalen Gründen zuweilen ein ähnlicher Zustand der Atmosphäre eintrete, wie er in den nördlichen Gegenden so oft stattfindet, und dass sich dann die ferne Küste ebenso verwandele, wie dort die Eismassen. Diese Erklärung ist jedenfalls wahrscheinlicher, als die mitunter ausgesprochene Ansicht, dass das Ganze durch die Spiegelung der schräge gegenüberliegenden Stadt Messina hervorgebracht werde, wogegen man unter andern mit Recht eingewandt hat, dass die Bewohner von Reggio das einfache Bild einer Stadt, deren Lage und Ansehen ihnen aus der täglichen Anschauung gegenwärtig ist, nicht verkennen, und daraus nicht so wunderbare Gebilde machen würden, wie sie ihren *Fata Morgana* zuschreiben.

Schliesslich muss hier noch ein von den früheren abweichender Fall der Luftspiegelung erwähnt werden, obwohl er sehr selten vorkommt. Wir haben bisher nur von Spiegelungen nach unten und oben gesprochen, aber nicht von solchen nach der Seite, und es ist auch klar, dass jene ersteren in der Natur durchaus vorwalten müssen, denn da die bedeutendsten Temperaturdifferenzen an einander grenzender Luftschichten fast immer durch den erwärmenden oder erkältenden Einfluss des Erdbodens entstehen, so sind auch die Flächen gleicher Dichte diesem fast immer ziemlich parallel, und können daher nur senkrechte Spiegelungen verursachen. Unter besonderen Umständen kann aber auch wohl einmal eine regelmässige Lagerung ungleich dichter Luftschichten in einer andern Richtung eintreten, und dadurch auch eine Spiegelung nach einer andern mehr seitlichen Richtung hervorgebracht werden, wie man dergleichen in der That einige Male wahrgenommen hat. Die wichtigste unter diesen Beobachtungen ist die, welche Jurine und

und Soret auf dem Genfersee gemacht haben, indem sie neben einem etwa zwei Meilen entfernten Schiffe längere Zeit ein deutliches Spiegelbild mitsegeln sahen. Die Erklärung scheint sich, der dortigen Oertlichkeit gemäss, daraus zu ergeben, dass die Gebirge, welche ihre Schatten bis weit auf den See warfen, dadurch die Luft in der Nähe des Ufers kühl erhielten, während dieselbe weiterhin durch die Sonne stark erwärmt wurde, und dass das Schiff zufällig nahe an der Grenze des Schattens hinsegelte.

Das Funkeln der Fixsterne. Die Sterne leuchten uns nicht immer mit gleich ruhigem Lichte. Zuweilen, und besonders, wenn sie sich in der Nähe des Horizontes befinden, zeigen sie ein eigenthümliches Zittern, und zugleich ändert sich dabei ihre Lichtintensität und Farbe: einmal scheinen sie ganz matt, dann wieder sehr hell, bald spielen sie mehr in's Röthliche, bald mehr in's Bläuliche. Diese schnellen Wechsel im Lichte der Sterne sind bekannt unter dem Namen des Funkelns.

Was zunächst die zitternde Bewegung betrifft, so erklärt sich diese leicht aus dem Früheren. Wir wissen, dass die Sterne in der Nähe des Horizontes schon im ruhigen Zustande nicht genau an ihrer richtigen Stelle erscheinen, sondern durch die Einwirkung der Atmosphäre etwas gehoben sind. Wenn nun in der letzteren in den Gegenden, welche von den Strahlen des Sternes durchlaufen werden, irgend welche Veränderungen vorgehen, so werden dadurch gleich die Strahlen etwas anders gebrochen, und der scheinbare Standpunkt des Sternes verschoben. Mitunter ist diese Verschiebung merklich gross und längere Zeit andauernd, gewöhnlich aber ist sie sehr gering und nur momentan, indem gleich wieder eine andere Verschiebung folgt. Die Wirkung dieser Verschiebungen ist aber nicht bei allen Sternen gleich. Die Planeten, welche dem blossen Auge zwar fast so klein, wie die Fixsterne erscheinen, haben doch einen scheinbaren Durchmesser, der noch bedeutend grösser ist, als die gewöhnlichen Verschiebungen. Daher werden sie nicht ganz aus ihrer Stelle gerückt, sondern nur am Rande bald erweitert bald verengt, was man durch das Fernrohr als ein Zittern des Randes gewahr wird; der ganze Planet scheint aber still zu stehen. Die Fixsterne dagegen, welche nur als Punkte sichtbar sind, lassen jede kleine Ortsveränderung gleich als Verschiebung des ganzen Sternes deutlich erkennen, und bei ihnen ist daher das Funkeln viel stärker.

Mehr Schwierigkeit als in dem Zittern hat die Theorie in der

Veränderlichkeit der Intensität und der Farbe gefunden. In neuerer Zeit ist aber auch hierfür eine sehr vollständige Erklärung von Arago gegeben *). Der Eindruck, den ein heller Punkt auf unser Auge macht, wird nicht blos durch einen einzigen in dasselbe eindringenden Strahl bewirkt, sondern es fallen sehr viele Strahlen auf die ganze Pupille, welche sich auf der Netzhaut wieder zu einem Punkte vereinigen. Wenn alle diese Strahlen auf ihrem ganzen Wege immer gemeinschaftlich durch dieselben Mittel gegangen sind, so entsteht das richtige Bild auf der Netzhaut. Ist dagegen ein Theil der Strahlen an irgend einer Stelle durch ein anderes Mittel gegangen, als der übrige Theil, so kann jener gegen diesen etwas beschleunigt oder verzögert sein, da sich die Lichtstrahlen nicht in allen Mitteln gleich schnell fortpflanzen. Man kann sich in Bezug auf die verschiedenen Mittel z. B. vorstellen, das Lichtbündel, welches auf die Pupille fällt, sei an einer Stelle gerade an der Grenzfläche zweier Luftmassen von etwas verschiedener Beschaffenheit vorbeigekommen, so dass einige der Strahlen durch die eine, die übrigen durch die andere gegangen seien. Ist nun durch solche Umstände eine Verschiedenheit des Weges verursacht, so treten die gewöhnlichen Interferenzerscheinungen ein. Beträgt die Verzögerung des einen Theils gegen den anderen z. B. gerade eine halbe Wellenlänge des Lichtes, so heben sich die Wirkungen beider gegenseitig auf, anstatt sich zu verstärken, während bei einer Verzögerung um eine ganze Wellenlänge das Gegentheil eintritt. Die Wellenlängen sind aber nicht für alle in dem weissen Lichte des Sternes enthaltenen Farben gleich gross, und es können sich daher bei einer bestimmten Verzögerung nicht alle Farben in gleichem Maasse aufheben. Jenachdem die Verzögerung die Hälfte der grössten oder der kleinsten vorkommenden Wellenlängen beträgt, oder vielleicht in der Mitte zwischen beiden liegt, zerstören sich vorzugsweise die einen oder die anderen äussersten Farben, oder die mittleren und mit ihnen der grösste Theil des Spectrums: und demgemäss nimmt das frühere Weiss eine blaue oder rothe Färbung an, oder es wird im Ganzen geschwächt.

Mit dieser Theorie, welche die Erscheinung sehr genügend erklärt, stimmt es auch überein, dass das Funkeln, wie schon oben bemerkt, in der Nähe des Horizontes stärker ist, als in grösserer Höhe, ebenso dass es sich in den Tropenländern weniger zeigt, als bei uns, indem dort die Erwärmung der Luft gleichmässiger ist,

*) S. Humboldt. Voyage aux etc. IV, p. 285.

ferner dass es nach Kämtz sehr stark ist, wenn in den höheren Regionen lebhaftere Winde wehen, da diese offenbar die Veränderlichkeit im Zustande der Atmosphäre begünstigen. Weniger klar ist es, weshalb das Funkeln in kalten Winternächten besonders deutlich hervortritt; doch kann vielleicht gerade diese Thatsache dazu dienen, über das Verhalten der Atmosphäre bei strengem Froste irgend etwas Neues zu lehren.

Erscheinungen, welche durch fremde, nur unter besonderen Umständen in der Atmosphäre vorhandene Körper hervorgebracht werden.

Der Regenbogen. Dieser ist in unseren Gegenden so häufig sichtbar, und erregt durch seine Schönheit jedesmal so sehr die allgemeine Aufmerksamkeit, dass eine vollständige Beschreibung hier unnöthig ist, und es sollen daher nur die Hauptgesichtspunkte hervorgehoben werden, auf die es bei der Erklärung ankommt.

Er zeigt sich überall, wo eine grosse Menge von Wassertropfen von der Sonne beschienen wird, was in der Natur besonders dann eintritt, wenn sich der Sonne gegenüber ein Regenschauer befindet. Seine Gestalt bezeichnet man gewöhnlich als Theil eines Kreises, dessen Centrum im Gegenpunkte der Sonne liegt, und dessen Radius $41\frac{1}{2}^{\circ}$ beträgt. Diese Angabe ist jedoch nicht genau und für manche Fälle sogar unrichtig, und man muss vielmehr, um zu einer allgemein gültigen Bestimmung zu gelangen, folgende Construction machen. Man denke sich so stehend, dass man die Sonne im Rücken hat, und beschreibe dann eine Kegelfläche, deren Spitze im eigenen Auge liegt, und deren Axe die Fortsetzung der geraden Linie von der Sonne zum Auge ist, und in welchem die Seiten mit der Axe einen Winkel von $41\frac{1}{2}^{\circ}$ bilden. Der Durchschnitt dieser Kegelfläche mit der von der Sonne beleuchteten Regenwand, oder überhaupt der Fläche, auf welcher der Bogen sich bildet, bestimmt die Gestalt des letzteren.

Hieraus ersieht man zunächst, dass der Regenbogen nicht ein an einer bestimmten Stelle der Atmosphäre befindlicher Farbenring ist, den man dort von allen Seiten her betrachten kann, sondern dass jeder Beobachter seinen eigenen Regenbogen sieht. Dasselbe gilt auch von vielen anderen optischen Naturerscheinungen, besonders von den Lichtkränzen und Höfen mit allen ihren Nebenerscheinungen, welche wir weiter unten betrachten werden.

Ferner kann man aus der obigen Bestimmung ansehen, wie die

Lage und Ausdehnung des Regenbogens vom Stande der Sonne abhängt. Ist diese gerade im Auf- oder Untergehen begriffen, so liegt auch ihr Gegenpunkt im Horizonte, und es kann daher in ebenen Gegenden der Regenbogen als ein voller Halbkreis erscheinen. Steht die Sonne höher, so befindet sich ihr Gegenpunkt unter dem Horizonte, und der Regenbogen kann sich nur als kleinerer Kreistheil über denselben erheben. Erreicht endlich die Sonne eine Höhe von $41\frac{1}{2}^{\circ}$ und darüber, so ist gar kein Regenbogen mehr möglich, weil die Kegelfläche gar nicht mehr den Himmel trifft, sondern ganz nach der Erde herabgeneigt ist. — Auf hohen Bergen, wo man zuweilen eine Regenwolke unter sich hat, finden diese Beschränkungen natürlich nicht statt, sondern dort kann man selbst beim höchsten Stande der Sonne einen Regenbogen sehen, der weit mehr als einen Halbkreis umfasst.

Die Breite des Regenbogens beträgt beinahe 2° , indem der Radius des innern Randes $40^{\circ} 30'$ und der des äussern $42^{\circ} 20'$ ist, und in dieser Zone bilden die Farben von Innen nach Aussen folgende Reihe: Violett, Dunkelblau, Hellblau, Grün, Gelb, Orange, Roth. Betrachtet man den Hintergrund, auf welchem der Bogen gezeichnet zu sein scheint, so bemerkt man einen deutlichen Unterschied zwischen dem Raume innerhalb des Bogens und dem äusseren. Der letztere zeigt ein dunkles Grau, von welchem sich die äusserste Farbe, das Roth, ziemlich scharf abgrenzt; der erstere dagegen ist zwar auch grau, aber merklich heller, besonders in der Nähe des Bogens, so dass auch der Anfang des Violett etwas verwaschen erscheint.

Ausser diesem Hauptbogen zeigt sich häufig noch der sogenannte Nebenregenbogen. Er läuft parallel neben jenem her, indem er einen Kreis um denselben Mittelpunkt, aber mit dem etwas grösseren Radius von ungefähr 52° bildet. In ihm liegen die Farben in umgekehrter Ordnung, so dass er nach aussen mit Violett abschliesst, und auch der Hintergrund ist bei ihm nach Aussen etwas heller als nach Innen, woraus folgt, dass der Raum zwischen beiden Bogen die grösste Dunkelheit besitzen muss.

Um die Entstehung des Regenbogens mit allen bisher erwähnten Eigenschaften vollständig zu erklären und seine Nothwendigkeit zu erkennen, braucht man nur zu betrachten, was nach den bekannten Gesetzen der Optik aus dem Lichte wird, welches von der Sonne auf einen Wassertropfen fällt. Sei $AMD N$ (Fig. 8.) der Querschnitt eines solchen Tropfens mit dem Mittelpunkte C , und CS die Richtung, in welcher die Sonne steht, so fallen auf die ganze

vordere Fläche MAN Strahlen in paralleler Richtung auf und erleiden nun theils hier, theils an der Hinterfläche verschiedene Brechungen und Reflexionen.

Zunächst wird von jedem auffallenden Strahle z. B. $S'B$ ein Theil sogleich an der Vorderfläche reflectirt, und die Richtung BP , in der dieses geschieht, hängt von der Lage des Punktes B auf der Kugelfläche ab, und zwar, wie man sich leicht überzeugen kann, in der Art, dass das von der ganzen Vorderfläche MAN reflectirte Licht ziemlich gleichförmig nach allen Richtungen zerstreut wird. Wenn also ein Beobachter vor einer beleuchteten Regenwand steht, so erhält er von jedem Tropfen einige solche Strahlen, und die ganze Wand müsste daher, wenn bloss dieses äusserlich reflectirte Licht wirkte, in einem gleichförmigen Grau erscheinen, welches aber wegen der grossen Verbreitung des Lichtes ziemlich dunkel sein würde.

Der grössere Theil des auf den Tropfen fallenden Lichtes dringt in das Innere desselben ein. Betrachten wir wieder den Strahl $S'P$, so erleidet dieser bei seinem Eindringen eine Brechung, und geht etwa in der Richtung BD bis zur Hinterfläche. Dort findet wieder eine Theilung statt: ein Theil DQ tritt aus der Kugel hervor, um seinen Weg in der Luft fortzusetzen, der andere, auf welchen es uns hier ankommt, wird in der Richtung DE reflectirt. Im Punkte E wiederholt sich dieselbe Theilung; hier wollen wir aber den reflectirten Theil für jetzt ausser Acht lassen, und nur den Theil EO verfolgen, welcher aus dem Tropfen austritt. Um nun die Wirkung aller Strahlen, welche, wie EO , im Innern des Tropfens reflectirt sind, kennen zu lernen, müssen wir besonders auf die Richtungen achten, in welchen sie den Tropfen verlassen. Diese Richtungen bestimmen wir nach den Winkeln, welche sie mit der Richtung der einfallenden Strahlen bilden, also z. B. für den Strahl EO nach dem Winkel, welcher durch die Verlängerung der Linien OE und $S'B$ in dem Durchschnittspunkte R entsteht. Dieser Winkel heisse φ . Die Grösse desselben hängt ebenfalls, wie früher die Richtung des äusserlich reflectirten Strahles, von der Lage des Punktes B ab, wo der einfallende Strahl die Kugelfläche trifft, aber die Abhängigkeit ist hier nicht so einfach, wie dort, weil hier nicht bloss eine Reflexion, sondern ausserdem noch zwei Brechungen bei B und E stattgefunden haben. Betrachten wir der Reihe nach alle Strahlen, welche in den verschiedenen Punkten von A bis M einfallen, so ist für den Punkt A selbst $\varphi = 0$; für höher liegende Punkte wird φ zuerst allmählig grösser, doch ist dieses Wachsen nicht

gleichmässig, sondern wird immer langsamer, je weiter der Einfallspunkt sich von A entfernt, bis es an einer gewissen Stelle K ganz aufhört, und sich von da an sogar in eine Abnahme verwandelt, so dass für Strahlen, die zwischen K und M einfallen, der Winkel φ wieder kleiner ist als für die bei K einfallenden, wo er sein Maximum erreicht hatte.

Das innerlich reflectirte Licht wird also nicht, wie das äusserlich reflectirte, nach allen Richtungen zerstreut, sondern nur nach solchen, die nicht weiter, als um den Maximumwerth des Winkels φ , von der Richtung der ankommenden Strahlen abweichen, und dabei findet, wie es aus mathematischen Gesetzen folgt, zugleich der wichtige Umstand statt, dass in den äussersten Richtungen, wo φ seinen grösstmöglichen Werth hat, wegen der Umkehr von Zunahme zu Abnahme, die dort stattfindet, die Menge der Strahlen ganz besonders gross ist. — Berechnet man nun jenen Maximumwerth des Winkels φ nach dem bekannten Brechungsvermögen des Wassers, so findet man ihn im Mittel zu $41\frac{1}{2}^\circ$, gerade den Werth, welchen man als Radius des Regenbogens kennt, und durch diese Uebereinstimmung ist es unzweifelhaft, dass man die Erklärung des letzteren aus jener eigenthümlichen Vertheilung des innerlich reflectirten Lichtes ableiten muss, was auch in folgender Weise ganz leicht geschieht.

Denken wir uns wieder einen Beobachter, welcher vor einer ausgedehnten von der Sonne beleuchteten Regenwand steht, und untersuchen, welchen Eindruck das von dort kommende innerlich reflectirte Licht auf ihn machen muss. Nicht von allen Tropfen kann solches Licht zu seinem Auge gelangen, sondern das hängt von ihrer Lage ab, und die Grenze bildet in dieser Beziehung eben jene Kegelfläche, welche uns oben zur Bestimmung der Gestalt des Regenbogens diene, und deren Seiten mit der Axe den Winkel $41\frac{1}{2}^\circ$ bilden. Die in unmittelbarer Nähe der Fläche befindlichen Tropfen senden sehr viele, die übrigen eingeschlossenen Tropfen wenigstens einige, alle ausserhalb liegenden dagegen gar keine innerlich reflectirten Strahlen zum Auge. Es muss also auf der Wand ein matt erlenchtetes Kreissegment erscheinen, welches von einem hellen Rande und weiterhin von einem dunklen Raume umgeben ist.

Auf diese Art würde man freilich nur einen ziemlich schmalen Regenbogen erhalten, wenig breiter als die Sonnenscheibe, durch deren Strahlen er erzeugt wird, und mit dieser müsste er auch in seiner Farbe gleich und also weiss sein. Es ist indessen im Vorigen noch ein wesentlicher Umstand unberücksichtigt geblieben.

Da nämlich die verschiedenen in dem weissen Sonnenlichte enthaltenen Farben ungleich stark gebrochen werden, so hat das Maximum des Winkels φ für jede Farbe einen besonderen Werth, und die oben angeführte Grösse $41\frac{1}{2}^{\circ}$ ist nur der Mittelwerth. Demnach bildet jede Farbe für sich eine Figur der Art, wie sie vorher beschrieben wurde, und nur die Radian der hellen Bogen sind verschieden. Indem nun alle diese Figuren gleichzeitig auf derselben Regenwand erscheinen, so decken sich die inneren matt erleuchteten Räume, und aus der Mischung aller Farben entsteht ein schwaches Grau; die hellen Ränder dagegen ordnen sich neben einander, indem sie zwar theilweise über einander greifen, aber sich nicht vollständig decken, und es entsteht dadurch eine breite Farbenzone, welche inwendig von einem helleren Grau begrenzt wird als auswendig, ganz so, wie es beim Regenbogen stattfindet.

Ebenso vollständig lässt sich der zweite Regenbogen erklären. Er verdankt seinen Ursprung demjenigen Lichte, welches erst nach zweimaliger innerer Reflexion aus dem Tropfen hervortritt. Betrachten wir nämlich einen unterhalb A (Fig. 9.) in B' einfallenden Strahl $S'B'$, welcher theilweise in der Richtung $B'D'$ eindringt, und dann theilweise in der Richtung $D'E'$ reflectirt wird, und verfolgen wir diesmal von E' ab nicht den Theil, welcher daselbst austritt, sondern den, welcher abermals nach F' reflectirt, und erst dort in der Richtung $F'O'$ herausgelassen wird, so lassen sich in Bezug auf diese doppelt reflectirten Strahlen ähnliche Schlüsse ziehen, wie bei den einfach reflectirten, und man gelangt dadurch zu folgenden Resultaten. Wenn man sich eine eben solche Kegelfläche construirt denkt, wie oben, nur dass darin statt des Winkels von $41\frac{1}{2}^{\circ}$ ein anderer von 52° genommen ist, so können alle Tropfen innerhalb derselben keine doppelt reflectirten Strahlen zum Auge gelangen lassen, sondern nur die ausserhalb befindlichen, und die stärkste Wirkung findet wiederum in der Nähe der Fläche selbst statt. Hieraus übersieht man, wie sich der zweite Bogen mit umgekehrter Farbenfolge bilden kann, und dass er auswendig ein helleres Grau haben muss, als inwendig.

Durch eine Fortsetzung derselben Betrachtungen wird man noch weiter zu einem dritten und vierten Bogen dieser Art geführt, aber diese Bogen nehmen der Reihe nach sehr schnell an Intensität ab, und schon der dritte ist so schwach, dass man ihn nur selten wahrgenommen hat, um so mehr, als auch seine Lage, — 40° von der Sonne, — für die Entstehung und Beobachtung sehr ungünstig ist.

Es würde also unnöthig sein, diese Wirkungen noch weiter zu verfolgen.

Als den Begründer der Theorie des Regenbogens sah man früher gewöhnlich Antonio de Dominis an, dessen Abhandlung 1611 zu Venedig herausgegeben ist. Zu Anfange dieses Jahrhunderts hat aber der Italiener Venturi eine viel ältere Erklärung aufgefunden, in einer Schrift des deutschen Mönches Theodorich aus Freiburg vom J. 1311, von der sich ein Manuscript zu Basel und ein anderes, wiewohl weniger vollständiges zu Leipzig befindet. Theodorich beschreibt und zeichnet darin ganz richtig, welche Brechungen und Reflexionen im Innern der Tropfen vorgehen, und wie sich die Wege der verschieden gefärbten Strahlen unterscheiden müssen, damit der Haupt- und Nebenregenbogen entstehe, was für jene Zeit wahrlich bewundernswürdig ist. Die Gründe, weshalb die Strahlen in einer bestimmten Richtung besonders stark reflectirt werden, und weshalb diese Richtung für die einzelnen Farben verschieden ist, konnte er natürlich noch nicht angeben, und diese Vervollständigungen der Theorie blieben Cartesius und Newton vorbehalten, nachdem die Gesetze der Brechung und der Farbenzerstreuung ermittelt waren.

Als eine entscheidende Bestätigung der Theorie, wenn es einer solchen überhaupt bedarf, kann die Beobachtung dienen, welche Biot und nach ihm noch andere Physiker gemacht haben, dass sich das Licht beider Regenbogen als vollständig polarisirt erweist, und dadurch ein Zeugniß von der mit ihm vorgegangenen Reflexion ablegt.

Wenn die Sonne sehr tief steht und vielleicht eben im Auf- oder Untergehen begriffen ist, so erscheint sie uns roth, indem aus ihrem Lichte auf dem weiten Wege durch die Atmosphäre die violetten und blauen Strahlen grossentheils verlöscht sind. Das muss natürlich auch auf die Farben des Regenbogens Einfluss haben, und in der That erscheint ein solcher, wenn er sich gerade um diese Zeit bildet, bedeutend schmaler als sonst, und manchmal enthält er nur Roth, Gelb und ein wenig Grün.

Befindet sich in der Nähe des Beobachters eine recht ruhige Wasserfläche, so zeigt sich darin ein klares Spiegelbild der Sonne, und dieses kann nun seinerseits, wie die Sonne selbst, das Entstehen eines oder auch zweier Regenbogen veranlassen, und man hat unter solchen Umständen zuweilen vier verschiedene Bogen gesehen, zwei zur Sonne, und zwei zu ihrem Bilde gehörige.

Dieselbe Rolle wie die Sonne kann natürlich auch der Mond, besonders als Vollmond, spielen. Das Mondlicht ist aber im Vergleich zum Sonnenlichte so ausserordentlich schwach, dass der Mondregenbogen kaum erkennbar ist, und daher kommt es, dass man ihn nur selten wahrnimmt, und dann gewöhnlich die Farben nicht unterscheiden kann, sondern nur einen weissen oder gelblichen Schein sieht. Mitunter hat man jedoch auch prismatische Farben beobachtet.

In dem Namen des Regenbogen liegt die Vorstellung, als ob die Erscheinung zu ihrem Entstehen nothwendig eines Regens bedürfe. Es ist aber schon oben gesagt, dass sie sich überall zeigen kann, wo man Gelegenheit hat, viele Wassertropfen der Sonne gegenüber zu beobachten. So kann man z. B. oft bei Wasserfällen, Springbrunnen, Mühlrädern und dergleichen die farbigen Bogen dicht vor sich sehen, und manchmal zeigen sie sich sogar am Erdboden. Wenn z. B. eine Wiese des Morgens mit unzähligen Thautropfen bedeckt ist, welche von der Sonne beschienen werden, so können auch diese einen Regenbogen hervorbringen. Hier erscheint er dann aber nicht in Kreisgestalt, sondern als eine mit der convexen Seite dem Beobachter zugekehrte Hyperbel, wie sie dem Durchschnitte der Kegelfläche mit der Ebene der Wiese entspricht.

In allem Bisherigen wurde nur die Hapterscheinung des Regenbogens betrachtet, welche er jedesmal ohne wesentliche Veränderungen zeigt; es kommt indessen noch eine interessante Nebenerscheinung vor, die nur unter besonderen Umständen eintritt, und nach diesen auch ihr Wesen ändert, nämlich die sogenannten secundären oder überzähligen Bogen.

Sie bestehen darin, dass der Hauptregenbogen nach Innen, und zuweilen auch der Nebenregenbogen nach Aussen, nicht mit dem Violett abschliesst, sondern jenseit desselben noch andere Farben erkennen lässt. Die Reihenfolge der letzteren ist nicht immer gleich: in einigen Fällen hat man ziemlich vollständige Wiederholungen des ganzen Regenbogens, nur auf einen engeren Raum zusammengedrängt, gesehen, in anderen sind nur einzelne Farben aus dem Grau hervorgetreten, am häufigsten aber ist die Anordnung folgende. An das Violett schliesst sich ein neues Roth an, welches theilweise mit jenem zusammenfällt, und durch die Vermischung Purpur giebt, und darauf folgt Grün, dann wieder Purpur, Grün und so zuweilen 3- oder 4mal hinter einander. Langwith beobachtete auf diese Weise neben dem vollständigen primären Regenbogen noch drei secundäre Farbenreihen nebst dem Anfange ei-

ner vierten, und fand dieselben zusammengekommen etwa so breit, wie den primären Bogen allein *). Er sagt auch, dass man die secundären Bogen immer nur am oberen Theile des primären sehe, indem sie nach beiden Seiten hin allmählig matter werden, und lange bevor sie den Fuss erreichen, ganz verschwinden. Diese Bemerkung ist auch durch viele spätere Beobachter bestätigt, und mir ist nur Eine Ausnahme bekannt, welche in neuester Zeit von Bravais wahrgenommen wurde, indem er von zwei an einem Regenbogen sichtbaren secundären Farbenreihen die eine bis zum Horizonte hinab verfolgen konnte **).

Von den wahrscheinlichen Ursachen der secundären Regenbogen ist in diesem Bande schon einmal die Rede gewesen, indem der Herr Verf. der ersten Abhandlung nach Auseinandersetzung seiner eigenen Theorie auch die sonstigen Erklärungsarten in den §§ 41 — 43 mit den wichtigsten Originalstellen angeführt hat, Ich will daher nur Eine derselben, nämlich die von Th. Young aus der Interferenz des Lichtes abgeleitete, noch einmal erwähnen, indem sich daran eine von Airy ausgeführte eigenthümliche Behandlung der ganzen Regenbogentheorie anschliesst, welche hier nicht übergangen werden darf.

Aus der obigen Erklärung des Regenbogens ist bekannt, dass unter allen auf die Oberfläche des Tropfens $AMDN$ (Fig. 8.) treffenden Sonnenstrahlen diejenigen, welche in einem gewissen Abstände AK vom Punkte A auffallen, nach ihrer inneren Reflexion am weitesten von der Richtung der ankommenden Strahlen abweichen — den grössten Winkel φ bilden —. Sowohl die zwischen A und K , als auch die zwischen K und M auffallenden Strahlen bilden kleinere Winkel φ . Betrachten wir daher einen Punkt der Regenwand, welcher einem solchen kleineren Winkel φ entspricht, so erhalten wir von da aus Strahlen, die jenen beiden Gruppen angehören, und diese müssen, da sie innerhalb der Tropfen verschiedene Wege durchlaufen haben, nothwendig interferiren. Wenn man sich den Winkel φ von seinem Maximumwerthe aus allmählig abnehmend denkt, so wird dabei für die entsprechenden Strahlen aus beiden Gruppen der Wegunterschied immer grösser, und sie müssen sich daher abwechselnd verstärken und schwächen.

Die daraus entstehenden Wirkungen lassen sich besonders durch eine graphische Darstellung, wie sie Airy in der weiter unten zu

*) Siehe die wörtliche Beschreibung auf S. 163. dieses Bandes.

**) Annuaire météorologique de la France pour 1849, p. 331.

erwähnen Arbeit angewandt hat, leicht anschaulich machen. Die Abscissenaxe in Fig. 15. soll die verschiedenen Werthe des Winkels φ bestimmen und zwar so, dass der Punkt 0 dem Maximumwerthe dieses Winkels für irgend eine zur Betrachtung ausgewählte Farbe, z. B. für das Roth, entspricht, und von hier aus nach links die Zunahme und nach rechts die Abnahme des Winkels gerechnet wird. Die Curven stellen dann durch ihre Ordinaten die bei den verschiedenen Werthen von φ stattfindende Intensität des rothen Lichtes dar, wie man sie erhält, jenachdem man die eine oder die andere Betrachtungsweise anwendet.

Die punktirte Curve giebt die Intensität nach der gewöhnlichen, im Obigen aus einander gesetzten Theorie. Bei 0, — d. h. in dem Abstände vom Gegenpunkte der Sonne, wo das Roth im primären Regenbogen seinen Platz hat, — ist die Intensität dieser Farbe am grössten, und zwar, streng genommen, gegen die an anderen Punkten stattfindende, unendlich gross. Von da aus nach rechts, — d. h. beim Regenbogen nach inwendig, — senkt sich die Curve anfangs sehr schnell, und dann langsamer, während sie sich nach links hin gar nicht fortsetzt, wodurch das matte allmählig abnehmende Licht innerhalb des Regenbogens, und die Dunkelheit ausserhalb desselben angedeutet wird.

Die schwach ausgezogene Curve stellt die Lichtintensität dar, welche man erhält, wenn man mit Th. Young die Interferenz berücksichtigt. Auch hier findet man die Intensität bei 0 unendlich gross, und von da nach rechts hin abnehmend; aber die Abnahme geschieht nicht, wie vorher, stetig, sondern unter abwechselndem Sinken und Steigen. Es giebt also rechts von 0 noch eine Reihe von Stellen, in welchen das Roth zwar nicht so intensiv ist, wie bei 0, aber doch gegen ihre Umgebung mit besonderer Lebhaftigkeit hervortritt. Wir wollen diese als secundäre Lichtstellen bezeichnen, im Gegensatze zu der bei 0 liegenden, welche die primäre heisse. Derselbe Wechsel von Hell und Dunkel findet nun auch bei den übrigen Farben statt, und während die primären Lichtstellen aller Farben zusammen den primären Regenbogen bilden, können aus den secundären Lichtstellen unter günstigen Umständen, die weiter unten noch näher bezeichnet werden sollen, secundäre Bogen entstehen.

Diese eigenthümliche Vertheilung der Helligkeit leitete Th. Young aus der von ihm verfochtenen Undulationstheorie des Lichtes ab *); doch hat er dabei noch nicht alle Consequenzen dieser

*) Gilb. Ann. XXXIX.

Theorie durchgeführt. Er beschränkte sich nämlich darauf, die aus ihr folgende Interferenz anzuwenden, ohne im Uebrigen die alte Erklärung zu ändern, welche auf der Vorstellung beruht, dass das Licht sich strahlenförmig fortpflanze, und dabei den gewöhnlichen Brechungs- und Reflexionsgesetzen folge. Der Begriff der Lichtstrahlen hat aber in der Undulationstheorie keine reelle Bedeutung, sondern wird nur zur leichteren Anschauung und Rechnung beibehalten. Streng genommen muss man die Wirkungen des Lichtes immer aus der Betrachtung seiner Wellenflächen ableiten, denn wenn auch in den meisten Fällen beide Betrachtungsweisen zu demselben Resultate führen, so kommen doch mitunter Abweichungen vor, die nicht vernachlässigt werden dürfen. Es war daher interessant, auch die Entstehung des Regenbogens so zu verfolgen, dass man die Form der Lichtwellen unmittelbar nach ihrem Austritte aus den Tropfen festzustellen und daraus die Wirkungen auf unser Auge zu bestimmen suchte.

Diese Art der Behandlung hat Airy angewandt *) und ist dabei zu einem Ergebnisse gelangt, welches, wenn es auch das Wesen der früheren Erklärung nicht ändert, doch quantitativ etwas von derselben abweicht. Danach liegt die primäre Lichtstelle irgend einer Farbe nicht in der Richtung, welche dem oben erwähnten Maximumwerthe des Winkels φ entspricht, sondern bei einem etwas kleineren Werthe von φ , und die Intensität ist daselbst nicht unendlich gross, sondern hat eine bestimmte Stärke. Die weitere Vertheilung des Lichtes ist dann aber ganz ähnlich wie bei der Young'schen Theorie, indem ebenfalls neben jener Stelle noch mehrere secundäre Lichtstellen liegen, welche der Reihe nach an Helle abnehmen. Diese Vertheilung ist durch die stark ausgezogene Curve (Fig. 15.) dargestellt, welche bei noch weiterer Fortsetzung nach rechts hin eine ähnliche Reihe von Kuppen bilden würde, wie die schwach ausgezogene. Die so veränderte Lage der Lichtstellen ist durch spätere Messungen von Miller **) und Galle ***) bestätigt, und man muss daher die Airy'sche Behandlungsart wohl als die eigentlich richtige ansehen.

*) Transact. of the Cambridge Phil. Soc. Vol. VI. pag. 379. und Pogg. Ann. Ergänzungsband (LIa) S. 232.

**) Phil. Mugaz. [Ser. III. Vol. XVIII. p. 520; Trans. of the Cambr. phil. soc. Vol. VII. P. III. und Pogg. Ann. LIII. S. 214.

***) Pogg. Ann. LXIII. S. 342.

Es fragt sich nun noch, unter welchen Umständen aus den secundären Lichtstellen, welche man bei Betrachtung eines einzelnen Tropfens und einer einzelnen Farbe findet, vollständige secundäre Regenbogen entstehen können. Dazu sind zwei Bedingungen erforderlich. Erstens müssen die Regentropfen sehr klein sein. Je grösser diese nämlich sind, desto enger liegen die secundären Lichtstellen unter einander und mit der primären zusammen, und dadurch wird ihr Sichtbarwerden verhindert. Beim Roth z. B., welches im primären Regenbogen den äussersten Platz einnimmt, muss die erste secundäre Lichtstelle beinahe so weit von jener primären entfernt sein, als der ganze übrige primäre Regenbogen breit ist, sonst würde das erste secundäre Roth etwa mit dem primären Gelb oder Grün zusammenfallen und dadurch verschwinden, und ähnliche Vermischungen würden auch bei den übrigen Farben stattfinden. Damit sich der erste secundäre Bogen ganz vom primären sondere, oder sich doch nur mit dem Violet desselben etwas vermische, müssen die Durchmesser der Tropfen kleiner als $\frac{1}{70}$ Zoll sein, und in diesem Falle stimmt auch die von der Theorie gegebene Breite der secundären Bogen ziemlich gut mit der von Langwith beobachteten überein.

Die zweite Bedingung ist, dass die Tropfen alle ziemlich gleich gross seien, denn bei verschiedenen Tropfen haben die secundären Lichtstellen verschiedene Abstände, und erleiden daher eine allgemeine Vermischung, wodurch ein unbestimmtes Grau entsteht.

Aus diesen Bedingungen ist es erklärlich, warum man nicht bei jedem Regenbogen auch die secundären Bogen sieht. Ferner lässt sich erkennen, warum die letzteren, wenn sie erscheinen, sich fast immer nur an den oberen Theilen des Bogens zeigen. Man kann nämlich annehmen, dass die Tropfen in den höheren Regionen bei ihrer Bildung oft noch alle so klein sind, wie es jene erste Bedingung verlangt, während sie beim Fallen durch die feuchte Luft mehr und mehr anwachsen, indem sich immer neuer Wasserdunst an ihren Oberflächen niederschlägt. Dabei scheint aber eine andere Schwierigkeit einzutreten. Wenn nämlich die Tropfen während ihres Falles grösser werden, so sollte man dem Vorigen nach erwarten, dass die secundären Bogen sich an den unteren Theilen immer enger an den primären anschliessen, und endlich ganz in ihm verschwinden würden, während man aus der Erfahrung weiss, dass sie vom Gipfel aus nach beiden Seiten parallel neben ihm herlaufen, und nur an Deutlichkeit nach unten zu immer

mehr verlieren. Ich glaube indessen, dass man diesen Einwand dadurch vermeiden kann, dass man annimmt, dass in den unteren Regionen nicht bloß die von oben kommenden Tropfen grösser werden, sondern auch neue kleine Tropfen entstehen, und daher die Summe der dort vorhandenen Tropfen nicht sowohl die erste Bedingung der Kleinheit, als vielmehr die zweite der Gleichförmigkeit unerfüllt lässt, wodurch jene unbestimmte Mischung entstehen muss.

Wenn man statt einer Regenwand einen dichten von der Sonne beschienenen Nebel vor sich hat, was in Gebirgen besonders im Spätsommer und Herbst des Morgens häufig vorkommt, so gewahrt man auf demselben mitunter einen hellen Bogen, der einige Aehnlichkeit mit dem Regenbogen hat. Er ist aber bedeutend schwächer als dieser, erscheint meistens weiss und höchstens am äusseren Rande etwas röthlich, und hat in den Fällen, wo man Messungen anstellen konnte, immer kleinere Radien gezeigt als der Regenbogen, und zwar verschieden zwischen den Grenzen 33° und 41° . Bravais, der dieser Erscheinung eine besondere Aufmerksamkeit gewidmet hat, ist zu einer sehr einfachen und natürlichen Erklärung gelangt *), wodurch sie auf den gewöhnlichen Regenbogen zurückgeführt und somit der ihr beigelegte Name eines weissen Regenbogens gerechtfertigt wird.

Da die Strahlen, welche den gewöhnlichen Regenbogen bilden, nicht durch den Mittelpunkt der Tropfen gehen, so sind zur Entstehung desselben auch nicht vollständig ausgefüllte Wasserkugeln nothwendig, sondern sie können inwendig hohl sein. Der hohle Raum darf aber im Verhältniss zur Dicke der Wasserschicht nicht zu gross sein, sondern wenn man den Radius der innern Kugel-fläche gleich 1 setzt, so muss der der äusseren wenigstens 1,55 betragen. Ist dieses nicht der Fall, so werden die Strahlen, welche den Regenbogen hervorbringen würden, an der inneren Fläche aufgefangen und dadurch sein Entstehen verhindert; aber ein Theil derjenigen Strahlen, welche dazu beitragen, den Raum innerhalb des Regenbogens heller erscheinen zu lassen, als den äusseren, kann dabei in seinem Wege noch ungestört sein, und dieser bewirkt dann die Entstehung eines Ringes, der etwas heller ist, als der übrige Hintergrund. Bravais zeigt durch seine Rechnungen, dass die Möglichkeit, einen solchen Ring zu bilden, beginnt, wenn der

*) Journ. de l'école polytechnique Cah. 30. und Ann. de chim. et de phys. III. S. T. XXI. p. 348.

äussere Radius den Werth 1,38 überschreitet. Nimmt man also an, dass in jenen schweren Nebeln die Bläschen meistens so dick seien, dass ihr äusserer Radius mehr als 1,38 betrage, aber noch nicht 1,55 erreiche, so folgt daraus, dass auf ihnen zwar nicht der vollkommene, farbige, wohl aber der weisse Regenbogen entstehen könne.

Der Hof mit seinen Nebenerscheinungen. Unter dem Namen von Höfen pflegt man im gemeinen Leben alle Lichtkreise zu verstehen, welche sich am Himmel um die Sonne oder den Mond zeigen. Man darf diese Kreise aber nicht alle als gleichartig betrachten. Sie bilden sich zwar sämmtlich in Wolken und Nebeln, aber diese selbst zerfallen in zwei wesentlich verschiedene Classen, von denen die eine wahrscheinlich aus Wasserbläschen, die andere aus Eiskrystallen besteht. In ihrem gewöhnlichsten Vorkommen lassen sich die Wolken beider Classen schon durch das blosse Ansehen unterscheiden, indem die letzteren, welche dann *Cirri* oder *Cirrostrati* genannt werden, sehr hoch schweben und glänzend weisse Schäfchen oder weit hingezogene Streifen bilden, während die ersteren uns näher sind, und meistens eine mehr abgerundete Gestalt zeigen, in welcher sie *Cumuli* heissen, obwohl auch sie flockenförmig zerrissen oder in lange Streifen geordnet sein können. Jede dieser beiden Classen von Wolken oder Nebeln erzeugt eigenthümliche Lichterscheinungen.

In den aus Bläschen bestehenden sieht man, wenn sie unter der Sonne oder dem Monde hinziehen, und dünn genug sind, um das Licht in hinlänglicher Stärke durchscheinen zu lassen, farbige Ringe von 1° bis 6° Halbmesser, in welchen besonders die nach Aussen hin abschliessende rothe Farbe vorherrscht. In den aus Eisnadeln bestehenden dagegen bilden sich viel grössere und complicirtere Figuren, von denen die Ringe um die Sonne nur einen Theil ausmachen. Der kleinste unter den letzteren hat einen Radius von 22° , und weicht auch in der Farbenfolge dadurch von den vorigen ab, dass er das Roth inwendig hat.

Da demnach diese beiden Erscheinungen sowohl durch ihr Ansehen, als auch durch die Bedingungen ihres Entstehens ganz verschieden sind, so ist es unzweckmässig, für beide denselben Namen zu gebrauchen. Manche Autoren haben sie daher als kleinere und grössere Höfe unterschieden, Kaemtz dagegen hat den Namen Hof — *halo* — nur für die letzteren beibehalten, und die ersteren Lichtkränze — *coronae* — genannt, und dieser Be-

zeichnung wollen auch wir uns anschliessen. — Wir wenden uns nun zunächst zur Betrachtung des Hofes.

Wenn derselbe sich mit einiger Vollständigkeit bildet, so bietet er eine solche Mannichfaltigkeit von Ringen um die Sonne, Kreisen durch dieselbe, Nebensonnen und bogenförmigen Ansätzen dar, dass man ihn zu den auffallendsten und wunderbarsten Naturerscheinungen zählt. Aber in dieser Weise erblickt man ihn sehr selten, und ganz vollständig, mit allen ihm angehörenden Theilen, wird er vielleicht nie gesehen, indem es fraglich ist, ob die verschiedenen Umstände, welche für die einzelnen Nebenerscheinungen günstig sind, alle gleichzeitig stattfinden können. Manche der letzteren sind überhaupt auch noch so selten beobachtet und beschrieben, dass wir über ihre Gestalt und Lage noch ziemlich ungewiss sind.

Ganz anders ist es mit den Haupttheilen des Hofes. Als solche kann man nämlich bezeichnen den oben erwähnten Ring von 22° Halbmesser, ferner zwei an den Enden des horizontalen Durchmessers befindliche Nebensonnen oder Nebenmonde, und zwei ihn aus einem höchsten und niedrigsten Punkte berührende Bogen. Diese sind nicht so selten, sondern lassen sich theils einzeln, theils in Gemeinschaft ziemlich oft wahrnehmen, viel öfter, als man vielleicht glaubt, wenn man nicht mit Aufmerksamkeit auf sie geachtet hat. Als Beleg können z. B. die Beobachtungen von Galle dienen *), welcher in Zeit von 19 Monaten 78mal den Ring von 22° , 45 Nebensonnen oder Nebenmonde und 28 Berührungsbogen gesehen hat.

Es würde nun, bevor wir auf das Wesen der Erscheinung näher eingehen, zunächst nöthig sein, einige besonders vollständige Höfe, wie sie zu verschiedenen Zeiten gesehen wurden, zu beschreiben. In dieser Beziehung kann ich aber wieder auf einen früheren Aufsatz dieses Bandes verweisen, in welchem Hr. Kuhse mehrere der wichtigsten Phänomene der Art nach den Originalbeschreibungen zusammengestellt hat, und ich werde daher im Folgenden die verschiedenen Theile des Hofes nur einzeln, wie im Verlaufe der Betrachtungen an sie die Reihe kommt, anführen. Die wichtigsten dieser Theile finden sich auf Fig. 14. angedeutet; doch muss dabei bemerkt werden, dass sie nur der klaren Uebersicht wegen so zusammengestellt sind, indem man einerseits in der Wirklichkeit nie alle dort gezeichneten Theile gleichzeitig und mit solcher Vollständigkeit gesehen hat, und andererseits dort wiederum mehrere Gestalten fehlen, die man zuweilen wahrgenommen hat,

*) Pogg. Ann. B. 49, S. 3.

die aber wegen der Seltenheit ihres Vorkommens noch kein recht sicheres Bild gestatten. Ausser dieser Figur werde ich mich auch auf die zu dem vorher erwähnten Aufsätze gehörigen (Tafel II — IV.) beziehen, welche die Erscheinungen darstellen, wie sie wirklich beobachtet sind.

Eine Erklärung des Hofes wurde zuerst von Cartesius versucht. Er nahm schon das Vorhandensein von Eiskörperchen dabei zu Hülfe, ging aber nicht genau genug auf die Sache ein. Sie wurde indessen bald von Huygens weiter ausgeführt. Dieser meinte, die Körperchen beständen aus einem undurchsichtigen Schneekerne, umgeben von einer Wasserhülle, und hätten theils die Gestalt von Kugeln, theils von Cylindern, welche letzteren so schwebten, dass ihre Axen senkrecht ständen. Obwohl diese Ansicht jedenfalls unrichtig ist, so wusste er daraus doch die Erscheinungen mit solchem Geschicke abzuleiten, dass man, als Mariotte die richtige Idee über die Eistheilchen aussprach, dass sie Krystalle mit übereinstimmenden Winkeln wären, wenig darauf achtete, indem man sich durch die Huygens'sche Erklärung schon befriedigt fühlte. Erst in neuerer Zeit wurde Mariotte's Gedanke wieder aufgenommen, aber dann auch kurz nach einander von Venturi, Fraunhofer, Babinet und besonders von Brandes *), Galle **) und Bravais ***) so erfolgreich behandelt, dass jetzt die wichtigeren, mit einiger Regelmässigkeit wiederkehrenden Theile des Hofes fast alle im Wesentlichen ausser Zweifel sind, und auch von der seltener vorkommenden Erscheinungen schon manche sinnreiche Erklärungsversuche vorliegen, die freilich weniger zuverlässig sind.

Dass die Höfe wirklich ihre Entstehung kleinen Eiskörpern verdanken, ist durch die Umstände, unter welchen sie erscheinen, und ihr ganzes Wesen schon so wahrscheinlich, dass in dieser Beziehung alle Erklärungen von Cartesius ab übereinstimmen. Es giebt aber auch Fälle, wo man sich durch den unmittelbaren Augenschein davon überzeugen kann. Man sieht nämlich zuweilen, besonders in den Polargegenden, aber an kalten Wintertagen auch bei uns, die Atmosphäre mit unzähligen Eisflittern angefüllt, welche so klein sind, dass man sie fast nur durch ihr Blinkern in der Sonne wahr-

*) Gehler's phys. Wörterb. neue Ausgabe Art. Hof.

**) Pogg. Ann. B. 49.

***) Journ. de l'école polyt. Cah. 31.

nehmen kann. Unter diesen Umständen bemerkte nun Kaemtz *) mehrfach, dass die hellen Punkte nicht überall erschienen, sondern einen Bogen bildeten, und durch Messungen überzeigte er sich, dass dieser dem Ringe von 22° angehörte. Ferner beobachtete Scoresby bei einer seiner Reisen auf den Wallfischfang **) an einem sehr kalten Tage kleine Wolken, aus welchen ein Schauer von Eisnadeln herabfiel; zugleich sah er zwei Nebensonnen, und fand, dass diese und der dazu gehörige Ring besonders dann lebhaft wurden, wenn jene Wolken mit ihrem Eisregen durch sie hindurch zogen, so dass es offenbar die Eistheilchen waren, welche den Lichteffect hervorbrachten. — Hiermit hängt es auch zusammen, dass die Höfe im Allgemeinen häufiger in kalten als in warmen Gegenden, und häufiger im Winter als im Sommer vorzukommen scheinen.

Die nächste Frage ist nun, welche Gestalt die in der Atmosphäre vorkommenden Eiskrystalle haben; aber darüber lässt sich schwer entscheiden, denn die Schneeflocken, die man bisher beobachtet hat, zeigen so mannichfaltige und meistens so wunderbar zusammengesetzte Figuren, dass sich daraus die Gestalt der einzelnen Theilchen, aus denen sie bestehen, nicht mit Sicherheit schliessen lässt. Soviel sieht man aber deutlich, dass unter den Krystallwinkeln besonders solche von 60° und 120° vorherrschen, und man scheint als einfachste Gestalt eine dreiseitige oder sechsseitige Säule annehmen zu können, die oben und unten durch Flächen begrenzt ist, die gegen die Axe senkrecht stehen, und also mit den Seitenflächen rechte Winkel bilden.

Sei $ABCDEF$ (Fig. 10.) der Querschnitt einer solchen sechsseitigen Säule, in welchem vorausgesetzt wird, dass die Winkel alle 120° betragen, während die Seiten nicht nothwendig unter einander gleich zu sein brauchen, so kann man je drei dieser Seiten, welche abwechselnd auf einander folgen wie AB , CD und EF , als Theile der Seiten eines gleichseitigen Dreiecks HIK ansehen. Daraus folgt, dass alle Brechungen und Reflexionen, welche in einer regelmässigen dreiseitigen Säule stattfinden können, auch in einer sechsseitigen möglich sind. Wir können uns daher der Einfachheit wegen vorläufig auf die Betrachtung von dreiseitigen Prismen beschränken, ohne mit Bestimmtheit vorans zu setzen, dass solche wirklich vorhanden seien.

*) Meteorol. B. 3, S. 118.

**) Journ. of a voyage etc.

Um die Wirkungen derselben auf das Licht zu verfolgen, wollen wir zuerst die Bedingung stellen, dass sie so liegen, dass ihre Axen gegen die ankommenden Sonnenstrahlen perpendikulär seien*). Betrachten wir nun lauter Prismen, deren Axen parallel sind, und zwar in einer Richtung, die der vorigen Bedingung entspricht, so besteht bei diesen die Verschiedenheit der Lage nur noch in einer verschiedenen Drehung um jene Axenrichtung, und es mögen HIK , $H'I'K'$ und $H''I''K''$ (Fig. 11.) die senkrechten Querschnitte dreier solcher Prismen sein. Sei SA ein Sonnenstrahl, welcher auf das erste auffällt, so wird er bei seinem Eintritte in der Richtung AB und bei seinem Austritte nach BO gebrochen, so dass er im Ganzen um den Winkel ONP , welcher φ heisse, aus seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt wird. Dieser Ablenkungswinkel ist es, auf den es hier ankommt. Er ist nicht in allen Lagen des Prisma's gleich gross. Wenn sich ein Prisma um seine Axe dreht, und man verfolgt, wie sich dabei die Ablenkung ändert, so findet man, dass sie bei einer gewissen Stellung des Prisma's einen Minimumwerth hat, so dass sie, mag man das Prisma von hier aus nach der einen oder nach der andern Seite drehen, in beiden Fällen wächst. Diese Stellung ist in dem mittlsten Dreiecke der Fig. 11. angedeutet und wird dadurch bestimmt, dass der innere Theil $A'B'$ des Strahles der Seite $I'H'$ parallel läuft. Das erste und dritte Dreieck der Figur weichen in ihren Stellungen nach beiden Seiten von jener mittleren ab, und daher sind die Winkel φ und φ'' beide grösser als φ' .

Ist die erste Bedingung, dass die Axen der Prismen perpendikulär gegen die Sonnenstrahlen stehen, nicht erfüllt, und müssen also die Strahlen schräg hindurch gehen, so wird auch durch diesen Umstand die Ablenkung vergrössert. Wenn man daher ein Prisma sich allmählig um eine solche schiefe Richtung der Axe drehen lässt, so findet sich zwar auch hier eine Lage, in der die Ablenkung am kleinsten ist, aber dieser kleinste Werth ist grösser als der oben erhaltene, φ' . Man kann also allgemein sagen: unter allen Prismen von beliebigen Lagen bringt dasjenige, dessen Axe senkrecht gegen die Strahlen steht, und wel-

*) Es soll im Folgenden der Kürze wegen immer nur von den Wirkungen der Sonnenstrahlen die Rede sein. Natürlich kann der Mond dieselben Erscheinungen hervorbringen, nur dass die Mondhöfe wegen der Schwäche des Lichtes im Allgemeinen matter, farbloser und weniger vollständig ausfallen, als die Sonnenhöfe.

ches ausserdem die oben bezeichnete Stellung hat, das Minimum der Ablenkung hervor.

Dieses Minimum hat dieselbe Eigenschaft, wie das beim Regenbogen vorkommende Maximum, dass nämlich, wenn sehr viele Prismen von verschiedenen Lagen zugleich wirken, nach derjenigen Richtung, welche dem Minimum φ' entspricht, ganz besonders viele Strahlen gebrochen werden.

Demgemäss kann man nun schliessen, welche Wirkung eintreten muss, wenn in der Atmosphäre vor der Sonne unzählige prismatische Eiskörperchen schweben, deren Stellungen ganz willkürlich sind, oder die in fortwährender Bewegung und Drehung begriffen sind. Von solchen Stellen des Himmels, deren Abstand von der Sonne gerade dem Winkel φ' entspricht, werden wir sehr viele gebrochene Strahlen erhalten, von den entfernteren Stellen wenigstens einige, und von den näher liegenden gar keine. Da dieselbe Lichtvertheilung an allen Seiten der Sonne gleichmässig stattfinden muss, so ist die dadurch bedingte Erscheinung ein um die Sonne gehender Ring mit dem Radius φ' , dessen äussere Umgebung einen helleren Hintergrund bildet, als die innere.

Hierbei ist nun wieder noch nicht berücksichtigt, dass die verschiedenen Farben in verschiedenem Verhältnisse gebrochen werden, und daher der Winkel φ' nicht für alle denselben Werth hat. Für die rothe ist er am kleinsten und beträgt etwa 22° , während er für die anderen bis über 23° wächst. Es muss also aus dem dunklen Raume zuerst ein rother Ring hervortreten, hinter diesen, zum Theil noch mit ihm zusammenfallend, ein oranger, dann ein gelber, grüner u. s. f. folgen. Der innere Rand des Ringes wird somit roth sein, und dieses Roth um so reiner und deutlicher erscheinen, als es mit keiner fremden Farbe vermischt ist, während an jeder Stelle, wo eine der folgenden Farben ihre grösste Intensität hat, zugleich auch noch ziemlich viel Licht von den vorhergehenden vorhanden ist.

Diese durch die Theorie gegebenen Resultate werden durch die Erfahrung vollkommen bestätigt. So enthalten z. B. die auf den Tafeln II — IV. gegebenen Figuren fast alle den Ring von 22° , und auch die Farbenfolge in demselben entspricht immer der obigen Angabe, falls nicht, wie es besonders bei Mondhöfen zuweilen vorkommt, das Licht zu schwach ist, um überhaupt Farben erkennen zu lassen.

Eine einfache Erweiterung der vorstehenden Betrachtungen führt auch zu den diesem Ringe angehörigen Nebensonnen und bogenförmigen Ansätzen. Soll der Ring in allen seinen Theilen

gleich hell erscheinen, so müssen die Eisprismen ziemlich gleichmässig in allen möglichen Richtungen liegen. Sobald eine bestimmte Lage vorwaltet, muss auch eine vermehrte Helle an einzelnen Punkten entstehen. Ein solches Vorwalten lässt sich in der Natur besonders für zwei Lagen erwarten.

Die einfachste Annahme ist, dass die Säulen ein Bestreben haben, sich mit ihren Axen senkrecht zu stellen. Dieses könnte z. B. dadurch verursacht sein, dass sie im Verhältniss zu ihrer Länge sehr schmal wären, denn alsdann würden sie sich bei ruhiger Luft, während sie in einem allmäligen Herabsinken begriffen wären, des Luftwiderstandes wegen so stellen, dass sie nach der Längenrichtung fielen. Nehmen wir also an, es kämen in der Atmosphäre in senkrechter Richtung mehr Säulen vor, als in irgend einer anderen, so folgt daraus, dass zwei Stellen rechts und links von der Sonne heller erscheinen müssen, als der übrige Ring. Diese Punkte brauchen aber nicht dem Ringe selbst anzugehören. Wenn die Sonne etwas hoch steht und also ihre Strahlen schräge herabkommen, so sind die Axen der senkrechten Prismen gegen die letzteren nicht perpendikulär, und die kleinste Ablenkung für diese Axenrichtung ist somit grösser, als das absolute Minimum φ' . Daher kommt es, dass man die Nebensonnen oft etwas ausserhalb des Ringes erblickt, und zwar um so weiter, je höher die Sonne steht. In den Figuren auf Tafel II und III sind sie immer in den Ring gezeichnet, in denen auf Tafel IV dagegen liegen sie ausserhalb desselben. Die Farben in den Nebensonnen sind ebenso geordnet, wie im Ringe, das Roth nach der Sonne zu. Ausserdem aber zeigen sich noch helle, in wagrechter Richtung nach aussen gehende Schweife, welche dadurch entstehen, dass auch diejenigen senkrechten Prismen, die nicht gerade so gedreht sind, dass sie die kleinstmögliche Ablenkung geben, doch ihrer grossen Menge wegen eine bedeutend stärkere Helle verursachen, als der übrige umgebende Raum besitzt.

Zuweilen sieht man auch Nebensonnen allein ohne den Ring. Dann muss man schliessen, dass die Eissäulen in so überwiegender Menge die senkrechte Richtung haben, dass man die Wirkung der übrigen nicht mehr bemerken kann, was um so leichter möglich ist, da die letztere sich über einen grossen Ring vertheilt, während sich die Wirkung der vertikalen Säulen auf zwei Punkte concentrirt.

Die zweite nahe liegende Annahme ist, dass unter den Prismen die horizontale Lage vorwalte. Diese Annahme unterscheidet sich von der vorigen besonders dadurch, dass die vertikale

Richtung eine einzige ist, in dem Worte horizontal aber noch unendlich viele Richtungen nach allen Himmelsgegenden befasst sind. Daher kommt es, dass dort, wenn wir von den Schweifen, die nicht von den Strahlen kleinster Ablenkung herrühren, absehen, nur zwei einzelne helle Flecke, hier dagegen zwei ausgedehnte Bogen entstehen.

Unter den verschiedenen horizontalen Richtungen ist nämlich nur Eine, welche gegen die Sonnenstrahlen perpendikulär ist. Die Prismen dieser Richtung gehören mit zu denen, welche den gewöhnlichen Ring *CED* (Fig. 12.) um die Sonne *S* bilden, und zwar gehören sie zu seinem obersten und untersten Punkte *C* und *D*, welche daher auch besonders hell erscheinen. Für jede andere horizontale Richtung der Axe ist die kleinstmögliche Ablenkung grösser als φ' , und die durch solche Prismen bewirkte Erleuchtung fällt also ausserhalb des Ringes. Der in der Richtung *SE* liegende helle Raum erscheint, anstatt in *E*, etwa in *F*, und da dieser Abstand *EF* immer grösser wird, je weiter der Punkt nach rechts oder links von *C* abweicht, so sieht man, dass alle diese hellen Räume zusammen einen Berührungsbogen *GH* bilden müssen. Dasselbe findet auch unten bei *D* statt, doch hat im Allgemeinen der Bogen *KI* eine andere Krümmung, als der obere. Auch ändern beide ihre Gestalt mit der Höhe der Sonne. Die Berührungspunkte *C* und *D* haben den stärksten Glanz, so dass man sie mitunter als Nebensonnen bezeichnet hat, und dieser erhöhte Glanz findet auch manchmal statt, ohne dass die Bogen weiter ausgebildet sind. In den Figuren auf Taf. III. sind die oberen Bogen überall klar gezeichnet, während unten nur ein unbestimmter Glanz angedeutet ist. In Fig. 1 Tafel IV. ist es umgekehrt, und nach der Beschreibung von Lowitz soll der Glanz des oberen Theiles so blendend gewesen sein, wie bei der Sonne selbst.

Was nun die physischen Gründe dafür, dass die Prismen mit besonderer Vorliebe die horizontale Stellung wählen sollten, betrifft, so sind diese allerdings nicht so ersichtlich, wie für die vertikale. Man kann zwar, wie Babinet bei einer anderen Gelegenheit thut*), annehmen, dass neben solchen Säulen, die in der Axenrichtung am meisten ausgedehnt sind, auch solche vorkommen, deren Axen verhältnissmässig sehr kurz sind, und die also die Gestalt von dünnen Tafeln haben. Diese würden durch den blossen Luftwiderstand gezwungen sein, sich mit ihren breiten Grundflächen

*) S. Pogg. Ann. B. 41.

vertikal und daher mit den Axen horizontal zu stellen. Solche Tafeln sind aber für unseren Fall wenig anwendbar, weil ihre Seitenflächen, welche die Brechung hervorbringen sollen, zu schmal sind. Venturi und besonders Galle haben dagegen die Idee ausgeführt, dass man sich die Säulen an den oberen und unteren Enden zugespitzt denken müsse, und zwar durch Flächen, welche ebenfalls theilweise unter Winkeln von 60° oder nahe 60° gegen einander geneigt seien. Die Kanten dieser Winkel würden, wie es verlangt wird, horizontal liegen, während die Axen der Säulen die oben vorausgesetzte vertikale Stellung beibehalten könnten. Aber auch gegen diese Annahme lässt sich Manches einwenden. Wir müssen somit vorläufig die That Sache, dass ein Vorwalten der horizontalen Lage entweder der ganzen Säulen oder doch einzelner Winkelkanten häufig stattfindet, aus der Erscheinung der Berührungsbogen als erwiesen ansehen und es den weiteren Forschungen überlassen, die Ursachen dieses Umstandes zu ermitteln.

Die bis jetzt betrachteten Theile des Hofes, bilden in Bezug auf die Erklärung eine in sich abgeschlossene Gruppe von Erscheinungen. Man sieht sie z. B. in der Figur 3, Tafel II. gerade vollständig dargestellt, nur dass der unterste Theil durch den Horizont verdeckt wird.

Dieselbe Gruppe wiederholt sich nun im Hofe noch einmal im grösseren Maassstabe. Nämlich ein etwa doppelt so grosser Ring — von 47° Halbmesser — oben fast immer mit einem Berührungsbogen, und an den Endpunkten des horizontalen Durchmessers wenigstens zuweilen mit Nebensonnen versehen, während von einem unteren Berührungsbogen kaum die Rede sein kann, weil gewöhnlich der ganze untere Theil der Figur unter dem Horizonte liegt. Diese Erscheinungen sind im Allgemeinen schwächer, und zeigen sich viel seltener, als die der ersten Gruppe. Galle führt unter seinen vielen Beobachtungen keine der Art an, und Kaemtz *) hat den grossen Ring in 5 Jahren nur zweimal gesehen. Die Zahl der überhaupt bekannten Fälle, in welchen sie wahrgenommen sind, ist jedoch noch bedeutend genug. Man sieht sie vollständig in Fig. 2, Taf. II. und mit Ausnahme der Nebensonnen auch Fig. 1 und 2, Taf. III. und Fig. 1, Taf. IV.

Die Erklärung dieser Erscheinungen haben manche Physiker aus solchen Strahlen abgeleitet, welche zwei Prismen mit Winkeln von 60° durchdrungen haben, sei's dass beide in einem gemein-

*) Meteorol. B. 3, S. 127.

schaftlichen grossen Krystalle zusammenhängen, oder dass sie einzeln schweben. Da indessen dem Obigen nach die Grundflächen der Krystalle mit den Seitenflächen wahrscheinlich rechte Winkel bilden, so liegt es nahe, diese in derselben Weise zu betrachten, wie vorher die Winkel von 60° ; und dabei zeigt sich in der That, dass das Minimum der Ablenkung bei einem brechenden Winkel von 90° gerade den Werth besitzt, den man als Halbmesser des zweiten Ringes gefunden hat, nämlich 47° . Demnach kann man wohl mit ziemlicher Sicherheit annehmen, dass die ganze zweite Gruppe von Erscheinungen ebenso aus den vorkommenden rechten Winkeln erklärt werden muss, wie die erste Gruppe aus den Winkeln von 60° .

Während im Vorigen immer von der Brechung in den Eiskrystallen die Rede war, drängt sich von selbst die Frage auf, ob nicht auch die an ihren Oberflächen stattfindende Reflexion zu eigenthümlichen Erscheinungen Veranlassung giebt; und wirklich kommen einige solche im Hofe vor. Ziemlich häufig ist der sogenannte weisse Horizontalkreis: ein farbloser Kreis, welcher durch die Sonne gehend nach beiden Seiten in horizontaler Richtung fortläuft, und manchmal den ganzen Himmel umgiebt. Er findet sich in fast allen Figuren der Tafeln II — IV. In diesem Kreise sind die bisher betrachteten und alle noch weiter unten zu erwähnenden Nebensonnen gelegen, wenn sie vorkommen, und er heisst daher auch der Nebensonnenkreis. Er erklärt sich aus der Reflexion auf den Seitenflächen vertikaler Säulen, wenn diese in überwiegender Menge vorhanden sind. Jede senkrechte Fläche giebt als Spiegelbild der Sonne einen hellen Punkt, der mit dieser in gleicher Höhe liegt, und wenn solche Punkte in grosser Anzahl sichtbar sind, so verbinden sie sich zu einem zusammenhängenden horizontalen Kreise. Dass dieser weiss sein muss, ergiebt sich hieraus von selbst, indem die Reflexion keine Farbenzerstreuung verursachen kann.

Eine andere Erscheinung dieser Art zeigt sich zuweilen beim Auf- und Untergange und überhaupt bei niedrigem Stande der Sonne, und besteht in einem weissen Lichtstreifen in vertikaler Richtung, der entweder von der Sonne aufwärts oder durch sie hindurch nach oben und unten gehen kann. Selbst wenn sie einige Grade unter dem Horizonte steht, kann der helle Streifen über demselben sichtbar sein. Galle hat diesen Streifen in 19 Monaten 7mal gesehen, und in den kalten Zonen kommt er noch häufiger vor. Manchmal ist er mit dem vorerwähnten Horizontalkreise verbunden, und gewährt dann den sonderbaren Anblick eines durch die Sonne gehenden Kreuzes, was natürlich in früheren Zeiten, wo die Höfe, wie

alle seltenen Himmelserscheinungen, dem Aberglauben anheim fielen, zu mancherlei Deutungen Veranlassung geben konnte. Fig. 3, Taf. III. zeigt ein solches Kreuz.

Die Erklärung des Vertikalstreifens hat einige Schwierigkeiten gemacht. Es genügt dazu nämlich nicht, wie in der vorigen Erklärung die vertikale, so hier die horizontale Lage unter den Eissäulen als vorwaltend anzunehmen, sondern dann müsste man gleich die Richtung noch näher dahin bestimmen, dass sie horizontal und zugleich gegen die Sonnenstrahlen perpendikulär sei, und dazu lässt sich kein denkbarer Grund finden. Fraunhofer hat bei diesem Streifen, wie auch bei dem Horizontalkreise, das bei den übrigen Theilen des Hofes angewandte Erklärungsprincip ganz verlassen, und ein anderes gesucht, aber solche Trennung ist bei dem unverkennbaren Zusammenhange aller dieser Erscheinungen unter einander nicht wohl zulässig. Galle, welcher zu den Eiskrystallen zurückkehrte, nahm an, dass die Reflexion an den oberen und unteren Grundflächen von vertikalen Säulen geschehe, und diese Idee hat Bravais noch weiter ausgeführt. Wenn alle Säulen genau senkrecht und somit ihre Grundflächen genau horizontal wären, so würden alle Sonnenstrahlen an ihnen in gleicher Richtung reflectirt werden, und es könnte sich dann unter günstigen Umständen ein vollständiges Spiegelbild der Sonne zeigen; ist dagegen jene Richtung nur die vorherrschende, so muss eine ähnliche Wirkung entsehen, wie auf einer etwas unruhigen Wasserfläche, auf der auch die horizontale Lage etwas gestört ist, aber doch noch vorherrscht. Wie sich hier das Bild eines Lichtes in einen langegezogenen senkrechten Streifen verwandelt, so kann sich auch dort ein solcher bilden, und zwar über und unter der Sonne, weil die unteren und oberen Grundflächen der Säulen in gleicher Weise wirken. Wenn die Sonne etwas hoch steht, so können die von den Grundflächen reflectirten Strahlen nicht mehr zum Auge eines Beobachters an der Erdoberfläche gelangen, falls die Säulen nicht sehr von der senkrechten Stellung abweichen. Es sind zwar dann noch solche Strahlen für ihn sichtbar, die wiederholte Reflexionen an mehreren verschiedenen Grundflächen erlitten haben, so das die Lichterscheinung vielleicht noch nicht ganz aufhört; aber jedenfalls sieht man doch, dass ein tiefer Stand der Sonne für dieselbe am günstigsten ist. — Einige Male hat man zugleich mit einem Vertikalstreifen auch eine oder selbst zwei dicht bei der Sonne befindliche Nebensonnen gesehen, doch sind diese Beobachtungen noch zu isolirt und unvollständig, um ein sicheres Urtheil darüber gewinnen zu können, ob sie wirklich mit

dem hier betrachteten Streifen zusammengehören oder vielleicht ganz anderer Natur sind.

Die übrigen bei den Höfen vorkommenden Erscheinungen sind meistens sehr selten. Bei manchen unter ihnen reichen die wenigen bekannten Beobachtungen noch nicht hin, um ihre Gestalt und Lage hinlänglich festzustellen, und dadurch eine zuverlässige Erklärung möglich zu machen, und andere sind wenigstens von untergeordnetem Interesse. Wir wollen sie daher nur noch kurz erwähnen.

Dahin gehören mehrere Theile des von Lowitz beschriebenen Phänomens Fig. 1, Taf. IV., nämlich die Ansatzbogen der Nebensonnen *xi* und *yk*, die seitlichen Berührungsbogen des zweiten Ringes *tt* und *vv* *), die beiden schrägen Bogen *dmhn* und *dlho*, welche von anderen Beobachtern so gezeichnet werden, dass sie durch die Sonne gehen**), und endlich die Verdoppelung des innern Ringes. Lowitz hat diese Gestalt so aufgefasst, als ob sie aus zwei sich schneidenden Kreisen bestanden hätte, doch scheint er sich, nach mehreren ähnlichen Beobachtungen zu schliessen, darin geirrt zu haben und der Ring selbst, wie gewöhnlich, kreisförmig, ausserdem aber noch von einer ellipsenartigen Figur umgeben gewesen zu sein, wie es z. B. in Fig. 3, Taf. IV. stattfindet.

Ferner hat man noch einige andere Ringe um die Sonne als die von 22° und 47° ***), und verschiedene Kreise, deren Mittelpunkte im Zenith zu liegen schienen, wahrgenommen, doch stehen diese Beobachtungen meistens noch sehr vereinzelt da.

Endlich müssen ausser den vier schon betrachteten noch eine Reihe anderer Nebensonnen erwähnt werden. Sie fallen mit Ausnahme einiger seltener vorkommender alle in den Nebensonnenkreis, und wenn ihre Abstände in demselben von der Sonne auch nicht immer gleich angegeben werden, so scheinen sie sich doch, den meisten Beobachtungen, nach in folgende drei Classen zu fügen. 1) Zwei zu beiden Seiten der Sonne in einem Abstände von 90° — 100° wie in Fig. 1, Taf. III, 2) zwei andere in einem Abstände von 120° wie in Fig. 1, Taf. IV. und 3) eine der Sonne gegenüber, welche daher auch Gegen Sonne genannt wird, wie in Fig. 1, Taf. III u. Fig. 1, Taf. IV †). Unter den Erklärungen finde ich die von Bravais angewandte am natürlichsten, nach welcher

*) In Fig. 14. bei H und H'.

**) Wie GI und GI' in Fig. 14.

***) Z. B. den durch E und E' (Fig. 14.) gehenden.

†) In Fig. 14. sind diese Nebensonnen bei E, E', F, F' und G angedeutet.

die Nebensonnen durch Strahlen gebildet werden, die mehrfache Reflexionen an den Seitenflächen gewisser Winkel und ausserdem vielleicht noch Brechungen erfahren haben. Betrachten wir z. B. in einem dreiseitigen Prima *HIK* (Fig. 13.) alle Strahlen, die wie *SA* in die Fläche *HI* eindringen, an den Flächen *HK* und *IK* reflectirt werden, und dann wieder aus *HI* austreten, so lässt sich zeigen, dass unter diesen ein Maximum der Ablenkung vorkommt, dem wie gewöhnlich eine stärkere Lichtintensität entspricht. Dieses Maximum beträgt für Prismen, deren Axen gegen die Sonnenstrahlen perpendicular sind, 98° , und ist für andere Stellungen der Axen kleiner. Bilden ferner die Flächen, an welchen die Reflexion geschieht, einen rechten Winkel, so erhält man nicht nur ein Maximum der Ablenkung, sondern alle Strahlen erleiden die gemeinsame Ablenkung von 180° , und in ähnlicher Weise kann man, wenn jener Winkel 120° beträgt, z. B. in sechsseitigen Säulen, unter besonderen Annahmen die Ablenkung von 120° erhalten. Diese Ablenkungswinkel sind aber nur bei solchen Prismen, deren Axen gegen die Sonnenstrahlen perpendicular stehen, absolut zu nehmen, d. h. so dass sie sich auf einen grössten Kreis des Himmels beziehen; für senkrechte Prismen z. B. müssen sie nach Graden des durch die Sonne gehenden Horizontalkreises gemessen werden. Nehmen wir also wieder die senkrechte Richtung unter den Prismen als vorwaltend an, so geben uns die drei erwähnten Fälle der Reflexion gerade jene drei Classen von Nebensonnen.

Die Lichtkränze und das Nebelbild. Die Kränze unterscheiden sich, wie schon oben erwähnt, besonders dadurch von den Höfen, dass sie nur aus Ringen um die Sonne oder den Mond bestehen, und diese viel kleiner sind als die dort vorkommenden, und eine umgekehrte Farbenfolge haben, indem das Roth nach Aussen gelegen ist. Man bemerkt sie beim Monde häufiger als bei der Sonne, was aber nur daher kommt, dass die letztere durch ihren eigenen Glanz zu sehr blendet, um in ihrer Nähe Farben zu unterscheiden. Man muss sich daher so stellen, dass die Sonnenscheibe dem Auge verdeckt ist, oder auf irgend eine Weise das ganze Licht schwächen, was z. B. dadurch geschehen kann, dass man den Himmel anstatt direct, in einer spiegelnden Fläche betrachtet, wozu *Kaemt*z einen hinten geschwärzten Glasspiegel vorschlägt. Wie häufig die Erscheinung ist, ergiebt sich unter andern aus folgender Stelle in *Kaemt*z's Meteorologie *); „Wofern die Wolken nicht so dicht

*) Bd. 3. S. 92.

sind, dass die von der Sonne kommenden Strahlen nicht mehr hindurchzudringen vermögen, zeigen alle Wolken mit Ausnahme der *Cirri* und *Cirrostrati* von geringer Dicke Spuren von Lichtkränzen.“

Auch dieses Phänomen ist in Bezug auf die Vollständigkeit, mit der es erscheint, ungemein veränderlich. Vorzugsweise vollständig wurde es von Newton im Juni 1692 gesehen. Es bestand aus drei Ringen um die Sonne, deren Farben nachstehende Reihenfolge bildeten. Im ersten: blasses Blau, Weiss, Roth; im zweiten: Purpur, Blau, Grün, blasses Gelb, Roth; im dritten: blasses Blau und Roth. Der Durchmesser des mittleren Ringes bis zum Roth an beiden Seiten war $9\frac{1}{3}^{\circ}$, Die beiden anderen Durchmesser hatte er nicht Zeit zu messen, doch schien der des ersten Ringes 5° bis 6° und der des dritten 12° zu betragen. Gewöhnlich erblickt man nur einen oder höchstens noch einen zweiten beinahe doppelt so grossen Ring, welche hauptsächlich roth erscheinen, und nur innerhalb des ersten noch etwas Blau, und zwischen beiden Grün erkennen lassen.

Die Erklärung der Kränze ist, obwohl die richtige Idee dazu schon früher ausgesprochen war, doch mit der gehörigen Vollständigkeit erst von Fraunhofer *) entwickelt.

Sie beruht auf der Lichtbeugung. Wenn das von einem leuchtenden Punkte ausgehende Licht auf seinem Wege einen sehr kleinen runden Körper trifft, so sollte sich hinter diesem eigentlich nur ein sehr enger Schattenkegel bilden. Statt dessen entstehen aber ganz andere Wirkungen, die weit über die Grenzen des Schattenkegels hinausgehen, und zwar um so weiter, je kleiner das Körperchen ist. In der Richtung nämlich, welche die Axe des Schattenkegels bilden sollte, findet gerade eine besonders starke Lichtintensität statt, und der Raum um diese Richtung lässt sich in beinahe kegelförmige Schichten theilen, die, wenn man es mit einfarbigem Lichte zu thun hat, abwechselnd hell und dunkel sind, und wenn das einfallende Licht weiss war, einen Wechsel verschiedener Farben darbieten, die aber nur in den ersten Schichten recht deutlich hervortreten, und weiterhin allmählig unkenntlich werden.

Betrachtet nun ein Beobachter ein solches Körperchen von verschiedenen Richtungen aus, die aber noch innerhalb der ersten von jenen Kegelschichten liegen, so erscheint es ihm mit verschiedener Helle und Farbe. Befinden sich dagegen zwischen ihm und dem Lichtpunkte sehr viele solche Körperchen, so kann er jene Verschiedenheiten gleichzeitig neben einander übersehen. Jedes Körperchen zeigt

*) Schumacher's astronom. Abhandlungen, Heft 3.

die Farbe, die ihm nach seiner Stellung zum Auge und nach seiner Grösse zukommt, und wenn sie alle gleich gross sind, so ordnen sich diese Farbenpunkte so regelmässig, dass sie concentrische Farbenringe um den Lichtpunkt bilden, die um so grösser ausfallen, je kleiner die Körperchen sind. Fraunhofer verschaffte sich diesen Anblick dadurch, dass er aus Stanniol sehr viele gleich grosse runde Blättchen schnitt, diese zwischen zwei Glasplatten legte und das Ganze vor das Objectiv eines Fernrohrs stellte, welches auf den Lichtpunkt gerichtet war, und in ähnlicher Weise wandte er sodann auch statt der Stanniolblättchen kleine Glaskügelchen an. Noch einfacher gelangt man dahin, wenn man eine Glasplatte mit Lycopodiumpulver bestreut, indem dieses aus Körnern von ziemlich gleicher Grösse besteht. Blickt man dann durch das Glas nach einem etwas entfernt stehenden Lichte, so sieht man dieses von deutlichen Ringen umgeben, deren Farben in der gewöhnlichen Reihenfolge abwechseln, und zwar so, dass das Roth in jedem Ringe nach aussen liegt.

Mit diesen Versuchen stimmt nun die Bildung der Lichtkränze in der Natur genau überein. Die runden Körper sind hier die in den Wolken enthaltenen Dampfbläschen, und je mehr diese an Grösse untereinander gleich sind, desto vollständiger und deutlicher müssen sich die Ringe zeigen *).

Wenn man diese Erklärung als richtig anerkannt hat, so hat man in ihr umgekehrt ein Mittel, jedesmal aus den Radian der Lichtkränze auf die Grösse der Dampfbläschen in den Wolken zu schliessen. Kaemtz, der sich um diesen Gegenstand durch viele Messungen besonders verdient gemacht hat **), ist zu dem Resultate gelangt, dass die Durchmesser der Bläschen in unseren Gegenden unter verschiedenen Umständen etwa zwischen 0,0004 und 0,002 pariser Zoll veränderlich sein können, und dass sie im Allgemeinen in den wärmeren Jahreszeiten kleiner sind als in den kälteren, indem er folgende Mittelwerthe erhalten hat:

*) Die äussere Grösse des Bläschens ist wohl zu unterscheiden von der Dicke des Häutchens, von der früher die Rede gewesen ist. Wenn man z. B. annimmt, dass unter gewissen Witterungsumständen alle Bläschen bei ihrer ersten Entstehung gleich gewesen, nachher aber in Bezug auf ihre Wassermenge mehr oder weniger angewachsen seien, so ist leicht zu sehen, dass die dadurch entstandenen Unterschiede im Verhältniss zur Dicke des Häutchens schon bedeutend sein können, während sie im Verhältniss zum ganzen Durchmesser des Bläschens noch gering sind.

***) Siehe Meteorol. B. 3, S. 99 u. f.
Beiträge z. meteorol. Optik. I. 4.

im Winter	0,00095
— Frühling	0,00072
— Sommer	0,00061
— Herbst	0,00090.

Mit den Lichtkränzen in unmittelbarem Zusammenhange steht noch eine andere Erscheinung, die besonders in Gebirgsgegenden ziemlich häufig vorkommt, und auf die zuerst Bouguer aufmerksam gemacht hat, der sie auf seiner Bergreise in Amerika mehrmals und darunter einmal mit seltener Vollständigkeit und Schönheit beobachtet hat. Es traf sich nämlich, dass, während im Osten die Sonne klar aufging, im Westen, etwa 30 Schritt von ihm und seinen Begleitern, eine Wolke stand, vor der noch ein schwacher wenig ausgebreiteter Nebel schwebte, der nur in einigen Schritten Entfernung zu bemerken war. Auf dieser Wolke sah nun jeder seinen eigenen Schatten so bestimmt, dass er die verschiedenen Theile desselben unterscheiden konnte, ohne jedoch den Schatten eines der anderen Reisegefährten wahrnehmen zu können. Um den Schatten seines Kopfes sah jeder mehrere concentrische Ringe, nämlich zuerst drei mit Radien von etwa 3° , $5\frac{1}{2}^{\circ}$ und $8\frac{1}{2}^{\circ}$, welche ganz das Ansehen der Lichtkränze hatten, und ausserdem noch einen weissen von $33\frac{1}{2}^{\circ}$ Radius, der offenbar der früher erwähnte weisse Regenbogen war, und daher hier nicht weiter berücksichtigt zu werden braucht.

Noch vollständiger ist dieses Phänomen von Scoresby*) gesehen, dem ausserhalb des Regenbogens, der in diesem Falle sogar Farben zeigte, noch ein fünfter weisslicher Ring erschien, der unzweifelhaft der Nebenregenbogen war. Ausserdem hat man es, obwohl meistens mit weniger Ringen, seit Bouguer noch ziemlich oft beobachtet, besonders in Gebirgen. Auf dem Brocken ist es unter dem sonderbaren Namen Brockengespenst bekannt, wobei jedoch vorausgesetzt zu sein scheint, dass der Beobachter ausser seinem eigenen Schatten noch den des Bergrückens sieht, auf welchem er steht. Die meisten Reisenden nennen es Nebenbild, während Kaemtz es mit dem Namen Gegensonne bezeichnet hat.

Was nun zunächst den Umstand betrifft, dass jeder Beobachter nur seinen eigenen Schatten, und ausserdem vielleicht noch die von ganz nahe befindlichen oder sehr grossen Gegenständen wahrnimmt, so lässt sich dieser leicht erklären. Der Schatten bildet sich näm-

*) Journ. of a voyage etc.

lich nicht blos an der Oberfläche der Wolke, sondern dringt tief in dieselbe ein. Wenn man nun diesen Schattenkegel gerade in der Richtung betrachtet, in welcher er in die Wolke eindringt, wie es jeder bei seinem eigenen Schatten thut, so sieht man in dieser Richtung nur verdunkelte, in anderen dagegen nur helle Bläschen, und muss daher den Unterschied von Dunkelheit und Helle deutlich erkennen. Bei einem entfernteren Schatten dagegen, den man schräge betrachtet, sieht man vor und hinter den beschatteten Bläschen noch so viele beleuchtete, das man den durch jene verursachten Mangel an Licht kaum oder gar nicht bemerken kann.

Bei der Erklärung der bunten Ringe um den Schatten muss uns besonders die Aehnlichkeit, welche sie mit den Lichtkränzen haben, leiten. Der enge Zusammenhang zwischen diesen beiden Erscheinungen ist noch besonders von Kaemtz *) ausser Zweifel gesetzt, welcher sich nicht damit begnügte, blos ihre Aehnlichkeit zu bestätigen, sondern sie auch nach der Grösse der Radien verglich, und fand, dass diese, so veränderlich sie unter verschiedenen Umständen ist, doch bei beiden, wenn sie sich unter gleichen Umständen bilden, übereinstimmt. Er hatte nämlich mehrmals Gelegenheit, in einem und demselben Nebel, der bei seinem Standpunkte vorbeizog, beide Ringsysteme zu beobachten und zu messen, und dann fand er immer ihre Radien so nahe gleich, als man es bei der Schwierigkeit der Messungen irgend erwarten konnte.

Fraunhofer suchte schon gleich nach seiner Erklärung der Lichtkränze, auch die des Nebelbildes auf dieselbe zurückzuführen, und zeigte, dass dieses ganz leicht geschehen könne, wenn man vorher nachgewiesen habe, dass eine Wolke oder ein Nebel in der Richtung, welche den ankommenden Strahlen direct entgegengesetzt ist, viel mehr Licht reflectire, als in den andern Richtungen. Diesen Nachweis hat er aber nicht geliefert, denn wenn er sagt **): „Ein auf ein Dunstkügelchen vertikal auffallender Strahl, der in dasselbe eindringt, und demnach durch den Mittelpunkt des Kügelchens geht, wird an der zweiten Fläche im Innern des Kügelchens reflectirt, und geht in derselben Richtung wieder zurück aus dem Dunstkügelchen.... Für Strahlen, welche sich einem vertikalen Auffallswinkel nähern, geschieht auch noch eine theilweise Zurückwerfung; doch werden diese um soviel mehr zerstreut, je grösser der Auffallswinkel ist,“ so ist da-

*) Meterol. B. 3, S. 111.

**) Schumacher's astron. Abh. H. 3, S. 62.

mit gar nichts gewonnen, denn es lässt sich durch genauere Betrachtungen zeigen, dass bei dem von einer soliden Wasserkugel äusserlich reflectirten Lichte, und ebenso bei dem, welches nur eine innere Reflexion erlitten hat, in der den ankommenden Strahlen entgegengesetzten Richtung durchaus keine überwiegende Intensität stattfindet. Geht man in der Betrachtung noch weiter, wie Fraunhofer, so findet man bei dem zweimal innerlich reflectirten Lichte sogar, dass von diesem gar keine Strahlen nach der bezeichneten Richtung gehen, wie es aus der Erklärung des Nebenregenbogens bekannt ist. Von der dritten inneren Reflexion gehen zwar Strahlen dorthin, aber wieder nicht in überwiegender Intensität. Erst bei der vierten und den folgenden Reflexionen kann dieses letztere stattfinden. Nimmt man nun alles von der Kugel reflectirte Licht zusammen, so ist in diesem der Theil, welcher vier und mehrere Reflexionen erlitten hat, verhältnissmässig sehr unbedeutend, und es wird daher das in ihm stattfindende Vorwalten jener Richtung in dem ganzen Lichte wenig bemerkbar sein.

Demnach ist in der Erklärung eine Lücke geblieben, doch glaube ich, dass diese durch ein Resultat, welches ich in einer früheren Arbeit *) gewonnen habe, ausgefüllt wird. Nimmt man nämlich statt der soliden Wasserkugeln Dampfbläschen als die Bestandtheile der Wolke an, so wird von diesen allerdings die obige Bedingung erfüllt, aber nicht mittelst der äusseren und der ersten inneren Reflexion, sondern erst mittelst der zweiten, dritten und der folgenden Reflexionen. Meine Rechnungen beziehen sich freilich nur auf sehr feine Bläschen, und finden daher auf die in der Wolke vorkommenden dickeren keine genaue Anwendung, aber sie können wenigstens als Maassstab für die Beurtheilung dienen. Es haben sich dabei für das gesammte Licht, welches ein von der Sonne beleuchtetes Bläschen reflectirt, unter andern folgende Zahlen ergeben:

φ	I	φ	I
150°	0,0876	175°	0,1261
160°	0,0907	178°	0,2000
170°	0,1021	179°	0,3232
		180°	1,9267

wo φ den Winkel bedeutet, den die reflectirten Strahlen mit der Fortsetzung der ankommenden bilden, und I die Intensität, welche

*) Crelle's Journ. B. 36.

in der durch den entsprechenden Werth von φ bestimmten Richtung stattfindet. Man sieht aus dieser Tabelle, dass bei $\varphi = 180^\circ$, also in der Richtung, auf die es hier ankommt, welche den ankommenden Strahlen direct entgegengesetzt ist, oder noch genauer, welche gerade nach dem Mittelpunkte der Sonnenscheibe zurückgeht, eine so überwiegende Intensität vorhanden ist, dass schon die um 1° davon abweichenden Strahlen 6mal schwächer sind, während weiterhin die Abnahme langsamer vor sich geht.

Wenn man nun demgemäss die senkrechte Reflexion auf den Bläschen als besonders stark annimmt, so könnte man vielleicht erwarten, auf der Wolke, der Sonne gegenüber, einen ausgezeichnet hellen Fleck zu sehen. Diesen verdeckt aber jeder Beobachter durch den Schatten seines eigenen Kopfes, und er kann nur in der Umgegend desselben noch eine etwas vermehrte Helle wahrnehmen, die nach Aussen hin allmählig abnimmt. Ausserdem müssen aber die Ringe entstehen, und zwar auf doppelte Weise. Erstens wird das ankommende Licht durch die vordersten Bläschen der Wolke, oder in dem von Bouguer beobachteten Falle auch schon durch diejenigen, welche den vor der Wolke schwebenden Nebel bildeten, theilweise gebeugt. Dieses gebeugte Licht wird dann, wie alles andere, auf den folgenden Bläschen grossentheils reflectirt, und zwar besonders stark in den Richtungen, welche den gebeugten Strahlen entgegengesetzt sind, und in diesen gelangt es zum Auge. Zweitens ist dasjenige Licht, welches, ohne vorher eine Veränderung zu erleiden, in die Wolke eindringt und dort senkrecht reflectirt wird, auf seinem Rückwege denselben Beugungsgründen unterworfen, welche sich beim vorigen auf dem Hinwege geltend machten, und kann dadurch ebenfalls in schräger Richtung zum Auge des Beobachters gelangen. Beide Beugungen vor und nach der Reflexion wirken nun natürlich in gleicher Weise, und erzeugen zusammen den Eindruck von Ringen, welche ganz den Lichtkränzen ähnlich sind, die entstehen würden, wenn dieselben Bläschen, die hier die Beugung verursacht haben, vor der Sonne schwebten.

Das Wasserziehen der Sonne. Zuweilen bei niedrigem Stande der Sonne, und wenn der Himmel oder wenigstens der Theil desselben, wo die Sonne sich befindet, ziemlich bewölkt ist, aber zwischen den Wolken doch einzelne Lücken vorkommen, welche die Sonnenstrahlen durchlassen, kann man die dadurch erleuchteten Theile der Atmosphäre als helle Streifen, die von den Wolken in der Richtung der Sonnenstrahlen nach der Erdoberfläche gehen, in dem übrigen dunkleren Raume deutlich unterscheiden. Man sagt

dann bei uns, die Sonne ziehe Wasser, während die Franzosen diese Streifen mit dem Namen „rayons crépusculaires“ bezeichnen.

Die Erscheinung hat nichts Ausserordentliches. Der in der Luft schwebende bläschenförmige Wasserdampf und der etwa in ihr befindliche Staub reflectirt das auffallende Licht, und wird dadurch selbst etwas leuchtend. Bei hohem Stande der Sonne nun ist die ganze Atmosphäre zu hell, um jenes schwache Licht zu bemerken. Wenn die Sonne aber nahe beim Horizonte steht, und daher die nicht direct von ihr beleuchteten Theile der Atmosphäre ziemlich dunkel sind, treten jene Streifen, die dann auch wegen ihrer schrägen Richtung eine grössere Ausdehnung haben, klarer hervor; ganz ähnlich wie man in einem dunklen Zimmer, in welches durch kleine Oeffnungen etwas Sonnenlicht eintritt, deutliche Streifen von leuchtenden Sonnenstäubchen sieht.

Bemerkenswerth ist aber die Gestalt, welche diese Streifen in der Atmosphäre anzunehmen scheinen, indem dabei eine eigenthümliche optische Täuschung stattfindet, die zuerst Smith *) richtig erkannt und erklärt hat. Erstens nämlich scheinen die Streifen, welche in der Wirklichkeit unter einander parallel sind, sich nach der Ferne hin zu verengen, wie wir es auch bei anderen parallelen Linien, z. B. bei langen Alleen oft beobachten. Zweitens versetzen wir sie aber auch häufig, zumal wenn sie bei sehr niedrigem Stande der Sonne über uns fortgehen, an das Himmelsgewölbe, wodurch sie ihre geradlinige Richtung verlieren, und die Gestalt von Bogen annehmen, die von der Sonne nach dem Gegenpunkte derselben hin gehen, welcher sich an der gegenüber liegenden Seite ebenso tief unter dem Horizonte befindet, wie die Sonne selbst über demselben. In der vollen Ausdehnung über den ganzen Himmel lassen sich diese Bogen freilich nicht erkennen, wohl aber kann man oft die von der Sonne aus divergirenden und die nach dem Gegenpunkte convergirenden Theile derselben sehen. Die letzteren sind gewöhnlich schwächer als die ersteren, und werden daher seltener bemerkt, doch sagt Arago **); „Pendant un séjour de deux mois à la petite île de Formentera, j'ai vu moi-même, une vingtaine de fois, tant le matin que le soir la convergence, que Smith a signalée et expliquée le premier.“ Dass wir die Streifen im Zenith nicht gewahr werden, liegt wohl

*) Vollständiger Lehrbegriff der Optik nach R. Smith's Englischen ausgearbeitet von Kaestner. Altenburg 1755. S. 419.

**) Ann. de chim. et de phys. I^e S. T. XXX. p. 430.

theils in ihrer dort stattfindenden grösseren scheinbaren Breitenausdehnung, theils darin, dass wir sie dort nahe senkrecht ansehen, und daher unsere Gesichtsslinie sie auf einem viel kürzeren Wege durchschneidet, als da, wo wir sie schräge gegen ihre Längsrichtung betrachten.

Man hält diese Erscheinung häufig für ein Vorzeichen von Regen, was auch theoretisch nicht ohne Grund ist, indem einerseits nach Kaemtz *) die eigenthümliche Wolkenbildung, durch welche sie veranlasst wird, an schönen Tagen nicht leicht vorkommen kann, und andererseits auch wohl zu ihrem deutlichen Hervortreten eine bedeutende Menge bläschenförmigen Wasserdampfes in der Atmosphäre nothwendig ist.

Das Nordlicht.

Schon bei den bisherigen Erscheinungen sind wir auf manche Lücken und Unsicherheiten in der Erklärung gestossen; die letzte aber, zu der wir uns jetzt wenden, und welche durch ihre Schönheit besonders anzieht, müssen wir überhaupt noch als unerklärt betrachten. Die vielen alten und neuen Beobachtungen des Nordlichtes haben nur vermocht, einige Anknüpfungspunkte an andere bekannte Naturerscheinungen als sicher festzustellen. Alle Versuche, von hier aus nach der einen oder der anderen Richtung ein Paar Schritte in der Erklärung weiter zu gehen, sind theils zu wenig gelungen, theils noch zu wenig bewährt, um auf ein Bürgerrecht in der Wissenschaft Anspruch machen zu können. Wir müssen uns daher gerade bei dieser Erscheinung, über die wohl unter allen hier erwähnten am meisten geschrieben ist und noch geschrieben werden wird, darauf beschränken, ihr äusseres Auftreten und einige an ihr wahrgenommene Eigenthümlichkeiten darzustellen.

Der Lichtglanz, welcher dieses Phänomen bildet, erscheint bei uns immer am nördlichen Theile des Himmels, und zeigt sich in den weiter nach Norden gelegenen Ländern häufiger und schöner, als in denen von geringerer Breite; daher hat es den Namen Nordlicht erhalten. Es liess sich aber im Voraus erwarten, dass die südlichen Polarländer den nördlichen in dieser Beziehung nicht nachstehen würden, und in der That haben dortige Reisende dasselbe

*) Met. III. S. 50.

Licht gesehen, und haben es dort Südlicht genannt. Seitdem fasst man zuweilen auch beide unter dem Namen Polarlicht zusammen.

Der Anblick des Nordlichtes ist ausserordentlich verschieden und veränderlich. Nur der erste Anfang, und gewissermaassen die Grundlage des Ganzen, ein dunkles Segment von einem hellen Rande eingefasst, werden wenigsten meistens in ziemlich gleicher Weise angeführt. Für die Fälle aber, wo es sich weiter entwickelt und in seiner vollen Pracht erscheint, sind die Beschreibungen der verschiedenen Beobachter sehr von einander abweichend, was man sich aus der Reichhaltigkeit der Erscheinung und den schnellen in ihr vorkommenden Wechsell, so wie aus der Mannichfaltigkeit, mit der die einzelnen Nordlichter sich von einander unterscheiden, erklären muss. Es ist indessen nicht rathsam, diese verschiedenen Beschreibungen in eine zu verschmelzen, sondern man muss hier, wie bei allen noch unerklärten Naturerscheinungen, die einzelnen Beschreibungen so viel wie möglich in ihrer ursprünglichen Form festhalten, um nicht durch eine andere Fassung unwillkürlich manches Fremdartige hineinzubringen, was besonders leicht möglich ist, wenn die neue Fassung unter dem Einflusse einer schon vorher angenommenen Erklärungsidee entsteht. Ich werde daher, da es hier zu weit führen würde, mehrere Beschreibungen neben einander zu stellen, meistens wörtlich derjenigen folgen, welche Argelander aus seinen sämtlichen Beobachtungen abstrahirt hat*), nachdem er, durch seinen Wohnort und Beruf als Prof. der Astron. zu Åbo in Finnland begünstigt, während der 8 Jahre von 1823 — 31 eine Anzahl von 162 Nordlichtern gesehen, in ihrem Verlaufe verfolgt und in ihren Grundzügen beschrieben hatte.

„Ein eigenthümliches schmutziges Ansehen des nördlichen Himmels in der Nähe des Horizontes verkündet dem aufmerksamen und geübten Beobachter meistens schon im Voraus das Erscheinen eines Nordlichtes. Bald wird die Farbe dunkler und es zeigt sich ein Zirkelsegment von geringerer oder grösserer Ausdehnung, mit einem lichten Saume eingefasst. Das Segment hat vollkommen das Ansehen einer dunklen Wolkenbank, und man ist daher nicht wenig erstaunt, nicht nur mit Hülfe des Fernrohrs die Sterne ungeschwächt durchscheinen zu sehen, sondern hellere sogar mit blossen Augen darin zu erkennen. Man wird nun versucht, die ganze Erschei-

*) Vorträge aus dem Gebiete der Naturwissenschaften und der Oeconomie, gehalten in der phys. öcon. Gesellschaft zu Königsberg. I. Königsb. 1834.

nung aus dem Contraste mit dem hellen Saume zu erklären. Aber nicht nur die Unwahrscheinlichkeit dieser Annahme bei der häufig sehr grossen Ausdehnung des Segmentes und der Schwäche des Lichtscheines, so wie das früher, ehe noch das Ganze sich gebildet hatte, bemerkte dunklere Ansehen dieser Gegend des Himmels, sondern auch der Umstand, dass, wenn das Nordlicht sich bei heller Dämmerung zeigt, diese innerhalb des Lichtscheines bei weitem braunröthlicher erscheint, als ausserhalb, und allmählig in die dunkle Basis übergeht, und der, dass, wenn über dem Lichtsaume noch ein Lichtbogen entsteht, dann das Aussehen der Gegend zwischen diesen beiden Helligkeiten sich durchaus nicht von dem des Himmels unterscheidet, — dies alles zeugt für die Realität der Erscheinung, und nöthigt uns, das Dasein einer wirklichen Materie anzunehmen. An dieses Segment, oder die Basis, schliesst sich der Lichtsaum überall an. Er ist von einer glänzend weissen, etwas in's Bläuliche fallenden Farbe, jedoch, so lange noch die Dämmerung vorhanden, wahrscheinlich durch die Verschmelzung der Farben, mehr gelblich, und bei sehr heller Dämmerung zuweilen in's Grünliche spielend. Seine Breite ist verschieden von einer bis zu vier, sechs und mehreren Vollmondsbreiten; der untere Rand ist meistentheils ziemlich scharf begrenzt, der obere nur dann, wenn die Breite gering ist, mit dem Zunehmen derselben wird er immer verwaschener, bis bei einer sehr grossen Breite durchaus keine Begrenzung mehr zu erkennen ist, sondern der Schein allmählig in das Licht des Himmels verfliesst. Dann ist die Helligkeit, die er verbreitet, auch sehr stark; und während ein geringerer seine Wirkung hauptsächlich nur auf den nördlichen Horizont äussert, verbreiten die stärkeren ein Licht über die ganze Gegend, dem gleich, das der Vollmond bis eine halbe Stunde nach dem Aufgange zu Wege bringt. Eben so verschieden als die Breite ist auch die Ausdehnung des Saumes. Ich habe sie zuweilen nur 25° bis 30° , zu anderen Zeiten bis nahe 180° gefunden, und demgemäss auch die Höhe über dem Horizonte von 2° oder 3° bis 10° , 12° und mehreren Graden.“

Wenn man die Lage dieser Figur näher untersucht, so stellt sich dabei ein merkwürdiger Umstand heraus, der den ersten Fingerzeig für die Natur des Nordlichtes giebt. Der höchste Punkt des Bogens befindet sich nämlich nicht genau im geographischen Norden, sondern in der Richtung, nach welcher die Magnetnadel weis't, also nach dem magnetischen Nordpol zu, der für uns nach NNW. liegt. Diese Richtung, ist jedoch nicht immer genau eingehalten, sondern es kommen merkliche Abweichungen davon vor,

welche besonders in der Nähe des magnetischen Poles bedeutend werden. Ueber die Grösse und selbst über den Sinn der Abweichungen lässt sich kein strenges Gesetz angeben, doch scheinen sie auch nicht ganz willkürlich zu sein, sondern für bestimmte Orte der Erde eine gewisse Gleichmässigkeit zu besitzen. So liegen z. B. in Finnland und Lapland nach den Berichten von Argelander und Bravais die Nordlichter gewöhnlich bis 10^0 und darüber westlich vom magnetischen Meridiane.

„So ist der Anfang eines jeden Nordlichtes, und häufig bleibt das Ansehn ungefähr dasselbe während mehrerer Stunden, ohne dass neue Erscheinungen sich zeigten. Indess herrscht keineswegs vollkommene Ruhe darin. Im Gegentheil ist die ganze Figur in fortwährender Bewegung, sie erhebt oder senkt sich, zieht nach Osten oder Westen, zwar nicht heftig, aber doch so, dass man nach Verlauf einiger Zeit den Unterschied deutlich merken kann. Plötzlicher und merklicher sind die Aenderungen der Gestalt, indem bald an der einen oder anderen Stelle Basis und Lichtsaum aus der regelmässigen Form ausweichen, bald das Licht einen Eingriff in die Basis macht, und dann diese breitere und hellere Lichtmasse sich fortbewegt. Am heftigsten aber werden sie, wenn das Nordlicht sich weiter ausbildet und Strahlen zu schiessen anfängt. Dann sieht man den Lichtsaum an einer Stelle bedeutend heller werden, in die Basis eingreifen, und es steigt ein heller Schein von der Farbe des Lichtsaumes in die Höhe, ungefähr halb so breit als der Vollmond, selten breiter, in der Mitte heller, nach beiden Seiten schwächer, aber deutlich vom Himmelsraume sich abschneidend. Mit Blitzesschnelle schiesst er auf, oft bis an den halben Himmel, zuweilen noch höher; oben züngelnd und in mehrere schwache Strahlen zerspalten, nimmt er die Figur eines Strahlenbüschels an. Meistens erhebt er sich senkrecht, selten in einer gegen den Horizont geneigten Richtung; sich bald verlängernd, bald verkürzend, behält er doch im Ganzen oft während mehrerer Minuten seine Gestalt bei, aber selten bleibt er auf derselben Stelle, sondern bewegt sich langsam nach Osten oder Westen, zuweilen wie vom Winde bewegt sich krümmend. Allmählig wird er blasser und verschwindet endlich, um anderen Strahlen Platz zu machen, die dasselbe Spiel von vorn anfangen. Wenn nun nicht einer, sondern 5, 6 Strahlenbüschel an verschiedenen Stellen aufsteigen, wenn endlich gar aus der ganzen Länge des Saumes dicht an einander sich Strahlen erheben, sich entweder nach einer Seite alle bewegen, oder in verschiedenen Richtungen von und gegen einander ziehen, wenn diese

sich bis zum Zenith erheben, und sich nun so durchdringen, dass man ihre Anfänge nicht mehr unterscheiden kann, wenn das Verschwinden und Wiedererscheinen so heftig geschieht, dass der ganze nördliche Himmel wie von zuckenden Flammen erfüllt ist, die von dem bläulich Weissen durch alle Abstufungen der Farben bis in's Purpurrothe spielen, wenn diese gar durch das Zenith und bis in den halben südlichen Himmel ziehen, dann gewährt das Nordlicht einen Anblick, den die Phantasie sich wohl malen, aber die Sprache nicht beschreiben kann. Staunend und entzückt sieht der Beobachter dem herrlichen Schauspiele zu, das in ewig verschiedenen Formen sich erneuert. — Nur eine Stelle des Himmels in der Nähe des Zeniths und in der Richtung, nach welcher die frei schwebende Magnetnadel zeigt, theilt nicht die allgemeine Beweglichkeit und Veränderlichkeit. In mattem Lichte glänzt sie ruhig fort, gleichsam der Pol der ganzen Erscheinung, und darum die Krone genannt. An ihrer Beharrlichkeit scheitert die Wuth der Strahlen; wie diese auch von allen Seiten auf sie einstürzen, sie vermögen sie nicht zu durchbrechen. Sie allein gewährt dem Beobachter einen festen Anhalt; wo sonst er seine Augen hinwendet, immer Neues und Neues gewahrt er, und nicht fassen kann er die ganze Herrlichkeit. Erst wenn nach oft mehrstündiger Dauer allmählig wieder Ruhe eintritt, wenn die Farben nach und nach verschwinden, und die einzelnen Strahlen sich wieder unterscheiden und verfolgen lassen, immer kürzer werden und endlich ganz aufhören, — erst dann kommt er von seinem Entzücken zurück, und erhält wieder Fassung zu prüfen, was er sieht. Die Pracht des Flammenmeeres ist verschwunden, und nur blasses Lichtgewölke, einem Rauche ähnlich, erinnert noch daran; in langsamer Bewegung schwebt er auf und ab, hin und wieder, erhebt sich endlich immer mehr, und wird immer schwächer, bis er einem unscheinbaren weisslichen Dunste gleicht, und zuletzt steht nur die Basis und der Lichtsaum noch da, anfangs noch in unregelmässiger Form und chaotisch durch einander gemengt, allmählig wieder regelmässig sich gestaltend. Nach kurzer Dauer bilden sich wieder neue Strahlen, aber die Kraft ist gebrochen, der Stoff verbraucht; nur hin und wieder erscheinen sie, nicht vermögend, sich über einige Grade zu erheben, verschwinden bald, um zuweilen wieder neuen Platz zu machen, bis endlich Basis und Lichtsaum immer schwächer werden, und endlich auch diese von der Bläue des Himmels nicht mehr zu unterscheiden sind.“

„Doch erreichen nur wenige Nordlichter die eben beschriebene

vollkommene Ausbildung; die Krone habe ich nur bei dreien gesehen, bei wenigen anderen erhoben sich die Strahlen bis zu einer Höhe von 60^0 oder 70^0 und spielten verschiedene Farben. Meistentheils erhebt sich, nachdem das Nordlicht einige Male Strahlen geschossen hat, das an den Enden der Basis gelagerte unregelmässige Gewölk, und überzieht in wenigen Augenblicken den ganzen Himmel mit einem dichten Schleier. Dann bricht sich zuweilen das Gewölk späterhin wieder, und in den Wolkenspalten sieht man noch lange den Lichtschimmer, auch wohl einzelne Strahlen..... Noch giebt es eine von der gewöhnlichen etwas abweichende Form, die häufiger vorkommt. Es bildet sich nämlich in einiger Höhe über dem Lichtsaume ein neuer Lichtbogen. Er ist gewöhnlich mit dem Saume und der Basis concentrisch..... Dieser Bogen ist meistentheils schmäler als der Lichtsaum, an beiden Seiten scharf begrenzt und von lebhaftem Glanze. Er bietet im Ganzen dieselben Erscheinungen dar, wie der Lichtsaum, das Auf- und Absteigen, das allmälige Sich-verschieben nach einer oder der anderen Seite, das Strahlenschiessen. Nur kommen aus diesem mehrere Strahlen hervor, meistentheils dicht bei einander, und der ganze Lichtbogen scheint sich in Strahlen aufzulösen; oder diese sind kürzer, verschwinden schneller, der Bogen nimmt rasch seine regelmässige Gestalt an, und die Dunkelheit, die auf das Dasein einer ihm zugehörigen Basis schliessen liesse, findet sich nie. Einen schönen Anblick gewährt es, wenn aus dem Saume und dem Bogen zugleich Strahlen aufsteigen; die ersteren schiessen dann nur bis zum Bogen, diejenigen aus diesem höher hinauf und erst, wenn er sich ganz aufgelös't hat, vermischen sie sich unter einander.“

Was nun die Zeit betrifft, in welcher die Nordlichter am häufigsten erscheinen, so kommt es da zunächst auf die Tageszeit an. In dieser Beziehung ist man noch nicht ganz sicher. Die Thatsache, dass man zuweilen Nordlichter an sehr entfernten Orten z. B. in Nordamerika und Europa, wo doch die Tageszeit so verschieden ist, gleichzeitig gesehen hat, scheint dafür zu sprechen, dass das Nordlicht nicht gerade an bestimmte Stunden der Nacht gebunden sei. Eben darauf deutet der Umstand, dass man zuweilen das Flimmern des Nordlichtes schon deutlich gesehen hat, ehe noch die Tageshelle verschwunden war, und dass mehrere Beobachter auch bei Tage bemerkt haben, dass die Wolken sich zu ähnlichen Gestalten ordneten, wie das Nordlicht zeigt, und dann auch die Magnetnadel in dieselbe Unruhe gerieth, die wie wir später sehen werden, bei Nordlichtern stattfindet, so dass man ein solches Wolkengebilde für

ein wirkliches Nordlicht halten musste, dessen Leuchten nur durch die Helle des Tages überstrahlt war. Auf der andern Seite hat aber die Erfahrung doch eine bestimmte Zeit als die gewöhnlichste erkannt. Nämlich für den Beginn und die Periode des grössten Glanzes die erste Hälfte der Nacht. Argelander, nachdem er gesagt hat, dass er ein Entstehen noch während der Tageshelle nie bemerkt habe, fährt fort: „Statt dessen beobachten wir ihr Entstehen immer erst während oder noch öfter nach Aufhören der Dämmerung, ihr Verschwinden gewöhnlich schon vor dem Grauen des Morgens. Jedoch scheinen auch nicht alle Theile der Nacht ihrem Entstehen gleich günstig zu sein, sondern hauptsächlich das erste Viertel derselben, und besonders die Zeit 3 bis 4 Stunden nach Untergang der Sonne. Seltener bilden sie sich erst gegen Mitternacht, und nach derselben habe ich nur einmal eins entstehen sehn, sowie auch nur einmal in der ersten halben Stunde nach Sonnenuntergang.“

In Bezug auf die Jahreszeiten ist der Winter schon wegen der grösseren Dauer seiner Nächte dem Erscheinen günstiger als der Sommer, und wirklich zeigt er auch bei weitem mehr Nordlichter als dieser. Es sind aber nicht gerade die Monate mit den längsten Nächten, welche sich darin am meisten hervorthun, sondern eine grosse Anzahl von Erfahrungen hat mit ziemlicher Sicherheit herausgestellt, dass in der Nähe der beiden Tag- und Nachtgleichen die Häufigkeit am grössten ist.

Neben den jährlichen Perioden scheinen auch noch viel grössere stattzufinden. Aus den aufgezeichneten Beobachtungen ergiebt sich nämlich, dass im vorigen Jahrhunderte, besonders gegen die Mitte desselben, die Nordlichter sehr häufig waren, in der zweiten Hälfte dagegen abnahmen, und im letzten Jahrzehend, so wie in den ersten Jahrzehenden dieses Jahrhunderts fast ganz verschwunden zu sein schienen. Seitdem aber haben sie sich wieder vermehrt, so dass sie jetzt zu einer bedeutenden Häufigkeit angewachsen sind. Diese schnelle Zunahme lässt sich selbst in dem kurzen Zeitraume der oben angeführten Beobachtungen von Argelander schon deutlich erkennen. In den einzelnen Jahren von 1823 bis 31 hat er nämlich der Reihe nach gesehen 3, 4, 17, 10, 15, 31, 32, 50 Nordlichter. Hansteen glaubt seit dem Jahre 502 vor Chr. Geb. 24 solcher Perioden, wie die des vorigen Jahrhunderts, nachweisen zu können, doch kann diese Bestimmung bei den wenigen und lückenhaften Angaben, die wir aus alten Zeiten besitzen, natürlich nur ziemlich unsicher sein.

Ueber die Höhe der Nordlichter ist man sehr verschiedener Ansicht gewesen. Zur Berechnung derselben bediente man sich hauptsächlich solcher Fälle, wo ein und dasselbe Nordlicht an verschiedenen Orten, wo möglich an solchen, die beinahe auf gleichem Meridiane liegen, beobachtet und die scheinbare Höhe des Bogens am Himmel gemessen war. Aus dem Unterschiede dieser scheinbaren Höhen, in Verbindung mit der Entfernung der beiden Orte von einander, bestimmte man dann die wahre Höhe. Dabei blieb aber der grosse Uebelstand, dass der Bogen nicht feststeht, sondern selbst bei ruhigen Nordlichtern sich allmählich hebt und senkt, und bei den bis zum Strahlenschiessen entwickelten, welche durch ihre Schönheit die Aufmerksamkeit besonders auf sich ziehen, die Messung vollends unmöglich wird. Hierin mag es wohl seinen Grund haben, dass die Resultate, welche dieses Verfahren gegeben hat, gänzlich von einander abweichen. Aus älteren Beobachtungen hatte man geschlossen, dass die Höhe der Nordlichter gewöhnlich über 100 geogr. Meilen betrage, und diese Ansicht war im vorigen Jahrhunderte ziemlich allgemein geltend. Spätere Beobachtungen reducirten die Höhe auf 20 bis 30 Meilen, andere auf 1 bis 2 Meilen, und bei einem Nordlichte, welches an zwei Orten in Schottland beobachtet war, fand man sogar nur eine Höhe von etwa 4000 Fuss.

Diese verschiedenen Angaben würden uns also noch in voller Ungewissheit lassen, doch giebt es einige besondere Umstände, welche unser Urtheil unterstützen können, und darauf hindeuten, dass die Nordlichter in der Region hoher Wolken, und zuweilen selbst noch niedriger ihren Sitz haben. Mehrere zuverlässige Beobachter haben bei verschiedenen Nordlichtern aus der Art, wie sie die über den Himmel zerstreuten Wolken beleuchteten, erkannt, dass sie sich in der Nähe einiger derselben befinden mussten, zuweilen wurden die Wolken sogar von unten beleuchtet, und in einem Falle hat Franklin deutlich gesehen, wie eine von dem Nordlichte ausgesandte Lichtmasse unter den Wolken, welche den Himmel bedeckten, dahin zog. Noch wichtiger, nicht bloß für die vorliegende Frage, sondern für das ganze Wesen des Nordlichtes scheinen mir die von Wrangel gemachten Bemerkungen zu sein*), dass, wenn das Licht sich bis in die Nähe des Zenith erstreckte, es die Gestalt

*) Phys. Beobachtungen des Capitänlieutenant Baron von Wrangel während seiner Reise auf dem Eismeere in den J. 1821, 22, 23 herausgegeben u. bearbeitet von G. F. Parrot. Berlin 1827.

von lichten Wolken annahm, die dann, indem ihr Leuchten nach und nach aufhörte, weisslich blieben, und oft noch am folgenden Tage als wirkliche kleine krause Wolken zu sehen waren, und dass ferner, wenn Nordlichtsäulen beim Monde vorbei schossen, sich Höfe grösserer Art in ihnen bildeten. Hiernach würden die Nordlichter sich nicht blos in der Region der Wolken befinden, sondern müssten wirklich aus Gewölk oder Nebel und zwar von der Art der *Cirri* oder *Cirrostrati* bestehen, die durch irgend einen physischen Process leuchtend gemacht würden.

Damit stimmen auch gewisse an den Wolken gemachte Beobachtungen überein. Es wurde schon oben erwähnt, dass diese zuweilen ziemlich vollständig die Form eines Nordlichtes annehmen, und sich dann auch durch die Wirkung auf die Magnetnadel als solches bewähren, und mit dieser Erscheinung sind auch wahrscheinlich die Polarstreifen, — *bandes polaires*, — verwandt, welche gar nicht selten und nach Humboldt *) in den Tropen noch viel häufiger als in der gemässigten und kalten Zone wahrgenommen werden. Sie bestehen darin, dass die hohen Federwolken sich in mehr oder weniger regelmässige Reihen ordnen, die wenigstens anfangs dem magnetischen Meridiane ziemlich parallel laufen. Es liegt nahe anzunehmen, dass bei der Bildung dieser Streifen dieselbe richtende Kraft obwalte, welche dem Nordlichte seine Gestalt und Lage giebt.

Zuweilen will man beim Nordlichte ein Geräusch gehört haben, welches ähnlich dem Rauschen beim Aufrollen eines Stückes Seidenzeug, oder dem Zischen der vom Winde gepeitschten Flamme einer Feuersbrunst sein soll. Dieses Geräusch wird aber von so vielen anderen Beobachtern ganz geleugnet, dass seine Existenz vorläufig dahingestellt bleiben muss.

Endlich muss noch eine Haupteigenschaft des Nordlichtes, sein Einfluss auf die Magnetnadel, erwähnt werden, auf den schon einige Mal hingedeutet wurde. Der Zusammenhang des Nordlichtes mit dem Erdmagnetismus stellt sich schon dadurch heraus, dass es bei der Anordnung seiner Gestalt und Lage nicht den geographischen Richtungen, sondern der Magnetnadel folgt. Umgekehrt wirkt es aber auch seinerseits mit merklicher Kraft auf die Richtung der letzteren, oder es tritt wenigstens gleichzeitig mit ihm eine solche ungewöhnliche Kraft ein. Die Declinationsnadel nämlich, welche sonst zwischen engen Grenzen langsam hin- und herschwankt, wird beim

*) Kosmos I. p. 441.

Entstehen eines Nordlichtes sehr unruhig, und weicht oft bedeutend nach der einen oder andern Seite von ihrer mittleren Richtung ab. Diese Wirkung ist auch nicht bloß auf die horizontale Stellung der Nadel beschränkt, sondern die Neigung der Inclinationsnadel, und selbst die Intensität des Magnetismus erleiden ebenfalls merkliche Veränderungen, und es bedarf oft noch längerer Zeit nach Beendigung des Nordlichtes, bis die Nadel ganz in ihren gewöhnlichen Zustand zurückkehren kann.

In Bezug auf die Erklärung des Nordlichtes ist es nun gewiss besonders der zuletzt berührte Zusammenhang mit dem Erdmagnetismus, den man als Hauptmoment im Auge behalten muss. Dabei ist es indessen noch zweifelhaft, ob man an eine rein magnetische oder an eine elektrische Wirkung zu denken hat, indem die Wechselwirkung zwischen Elektrizität und Magnetismus bekannt ist. Ausserdem sind auch wohl noch einige im Vorigen enthaltene Angaben geeignet, auf den richtigen Weg zu führen, wozu ich besonders diejenigen rechne, welche als Grundlage der Erscheinung eine eigenthümliche Wolkenbildung vermuthen lassen. Die vollständige Entwicklung eines Naturprozesses, der gerade diese grossartige und complicirte Lichterscheinung mit allen ihren Eigenthümlichkeiten zur Folge haben muss, bleibt indessen noch eine Aufgabe für die Zukunft, und ich glaube daher auf die einzelnen bis jetzt gemachten Erklärungsversuche, wenn sie auch nicht ohne Interesse sind, und schon manchen glücklichen Gedanken enthalten mögen, in dieser allgemeinen Darstellung nicht näher eingehen zu dürfen.

IX.

M i s c e l l e n.

In der Abhandlung Nr. VII. S. 261 ff. habe ich darauf aufmerksam gemacht, dass bei Lambert's Beobachtungen des Dämmerungsphänomens jedenfalls das Zodiakallicht mit eine Rolle gespielt hat, und habe die Vermuthung ausgesprochen, dass dies auch bei Lacaille's Beobachtungen, die Biot anführt, der Fall gewesen ist. Eine vollständige Bestätigung hat diese von mir ausgesprochene Vermuthung jetzt durch einen Fund des Herrn Doctor W. Schlesicke (gegenwärtig in Berlin) erhalten, welcher die betreffende Abhandlung von Lacaille in den *Mém. de l'Acad. de Paris*, die mir, als ich den Aufsatz Nr. VII. schrieb, nicht zu Gebote standen, selbst nachgesehen hat, und mir darüber die folgende in mehreren Beziehungen interessante Mittheilung macht, die ich den geehrten Lesern dieser Zeitschrift nicht vorenthalten darf:

„Am meisten interessant war mir die, wie es mir scheint, unzweideutige Bestätigung Ihrer Ansicht, dass bei dem Dämmerungsphänomene das Zodiakallicht einen merkwürdigen Einfluss übe. Die mir freistehende Benutzung der Königl. Bibliothek setzte mich nämlich in den Stand, Lacaille's eigenen Bericht über seine am 16. und 17. April 1751 gemachten Dämmerungsbeobachtungen nachzulesen. Dieselben sind offenbar in der Nähe des Caps der guten Hoffnung gemacht; da Lacaille Rio Janeiro am 25. Februar 1751 verlassen hatte und bereits am 19. April 1751 auf dem Cap landete. Dass aber auch wenigstens bei der ersteren am 16. April gemachten Beobachtung das Zodiakallicht sichtbar gewesen sei, sagt Lacaille ausdrücklich in der betreffenden Stelle, welche sich in den *Mém. de l'Acad. année 1751* unter dem Titel: „„Diverses observations astronomi-

„„„ques et physiques, faites au cap de Bonne-espérance pendant les années 1751 et 1752 et partie de 1753. Par M. l'Abbé de la Caille. Article XIII. Sur la longueur des Crépuscules““ findet. Unmittelbar hinter den auch von Ihnen angeführten Worten, mit denen dieser Artikel beginnt, heist es: „„„..... le 16 avril, de 16°. 38'; le 17 de 17°. 13'. Le 16 Avril, la lumière zodiacale étoit étendue sur toute la constellation du Taureau et des Gémeaux; elle se perdoit dans la voie lactée. J'ai remarqué en général sans en prendre cependant des mesures particulières, qu'au cap de Bonne-espérance et encore plus à l'Isle de France, la lumière zodiacale étoit extraordinairement claire et longue. Les habitans la remarquent tres bien et la croient une vraie lumière du crepuscule, on ne peut même les en abuser.““

Dadurch bestätigt sich also Ihre Vermuthung für die Beobachtung vom 16. April auf das Vollständigste und zugleich wird es sehr wahrscheinlich, dass das Zodiakallicht auch am 17. April sichtbar war, die Erwähnung desselben aber von Lacaille unterlassen wurde, weil es vielleicht weniger hervortrat, und von geringerer Ausdehnung war.

Diese Mittheilung scheint mir Vieles zur Bestätigung Ihrer interessanten Hypothese beizutragen“. So weit Herr Doctor Schlesicke.

Der Herausgeber.

V e r b e s s e r u n g e n .

- S. 367 Z. 8 von oben lies: Taf. VII — XII statt Taf. VII — XI.
 — 380 — 11 — — ist hinter dem Worte Stellen das Wort aber zu streichen.
 — 381 — 12 — — lies: zu betrachten sei, st. zu betrachten.
 — 407 — 11 — — — mirailou statt miraillu.
 — 401 — 1 — — ist das Wort und zu streichen.
 — 420 — 2 — — statt vollsändige lies: vollständige.

Druck von C. P. Melzer in Leipzig.

Bei demselben Verleger, **C. B. Schwickert** in Leipzig, sind nachfolgende empfehlenswerthe Werke erschienen und durch alle Buchhandlungen zu beziehen:

J. S. T. Gehler,

Physikalisches Wörterbuch.

Neu bearbeitet von

**Brandes, Gmelin, Horner, Littrow, Muncke
und Pfaff.**

**XI Bände in 20 Theilen mit 273 Kupfertafeln nebst
6 Karten u. 5 Kupfertafeln z. Register. gr. 8.**

Subscriptions - Preiss:

auf Druckpapier 72 Thlr. 12 Ngr.,
auf Schreibpapier 92 Thlr. 15 Ngr.

G. S. Klügel,

Mathematisches Wörterbuch,

oder

Erklärung der Begriffe, Lehrsätze, Aufgaben und Methoden
der Mathematik, mit den nöthigen Beweisen und literarischen
Nachrichten begleitet, in alphabetischer Ordnung.

Fortgesetzt von **C. B. Mollweide** und beendigt von **J. A.
Grunert.** 5 Theile. Mit 39 Kupfertafeln. gr. 8.

Herabgesetzter Preis 16 Thlr.

J. A. Grunert,

Supplemente

zu

G. S. Klügel's

Wörterbuche der reinen Mathematik.

2 Abtheilungen. Mit 6 Kupfertafeln. gr. 8.

8 Thlr. 20 Ngr.

J. A. Grunert,

Elemente der Differential - und Integralrechnung

zum

Gebrauche bei Vorlesungen.

2 Theile. Mit 3 Figurentafeln. gr. 8.

2 Thlr. 18 Ngr.

J. A. Grunert,
Elemente der analytischen Geometrie

zum
Gebrauche bei Vorlesungen.

2 Theile. Mit 5 Figurentafeln. gr. 8. 2 Thlr. 20 Ngr.

J. A. Grunert,
**Elemente der ebenen, sphärischen und
sphäroidischen Trigonometrie**

in
analytischer Darstellung mit Anwendung auf Geodäsie
und Astronomie,

zum
Gebrauche bei Vorlesungen.

Mit 3 Figurentafeln. gr. 8. 1 Thlr. 22 Ngr.

J. A. Grunert,
Leitfaden

für
den ersten Unterricht in der höhern Analysis.

Mit 1 Kupfertafel. gr. 8. 1 Thlr. 8 Ngr.

J. A. Grunert,
Optische Untersuchungen.

Enthaltend:

Allgemeine Theorie der Fernröhre und Mikroskope und
Theorie der achromatischen Objective für Fernröhre.

2 Theile. Mit 3 Figurentafeln. gr. 8. 3 Thlr.

J. A. Grunert,
Loxodromische Trigonometrie.

Ein Beitrag zur Nautik.

gr. 8. geh. 21 Ngr.

J. A. Grunert,
Versuch einer neuen Methode

zur
Bestimmung der Polhöhe oder geographischen Breite
bei geodätischen Messungen.

gr. 8. geh. 12 Ngr.

Fig. 1.

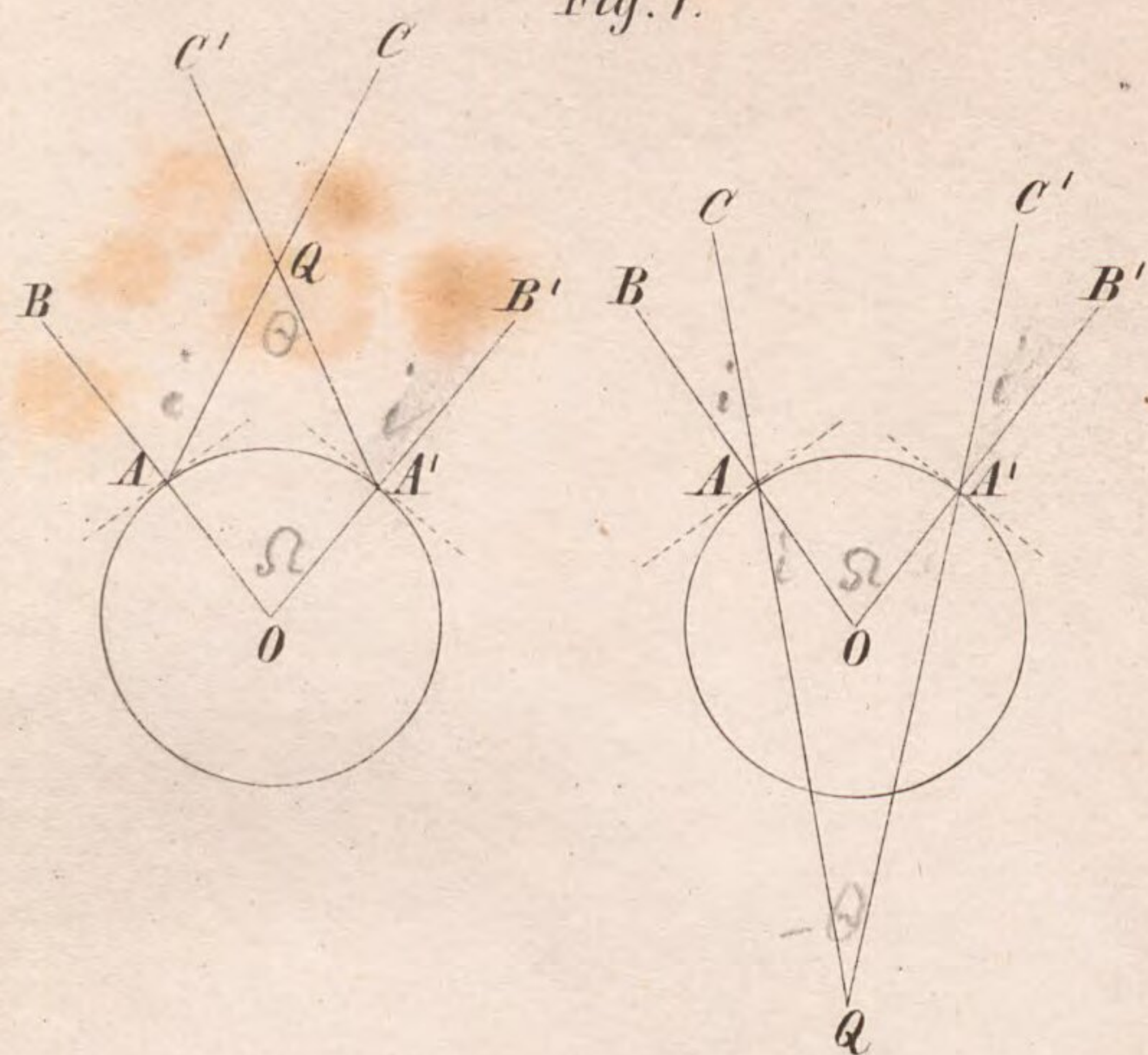


Fig. 2.

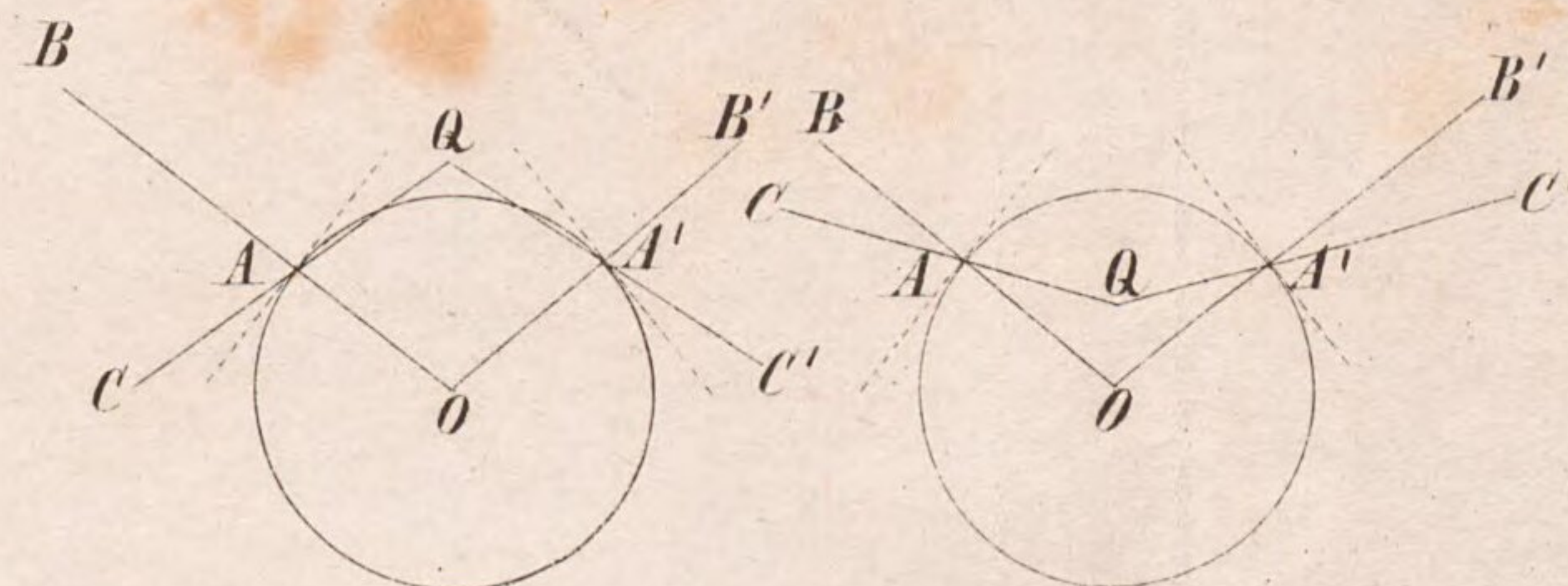


Fig. 3.

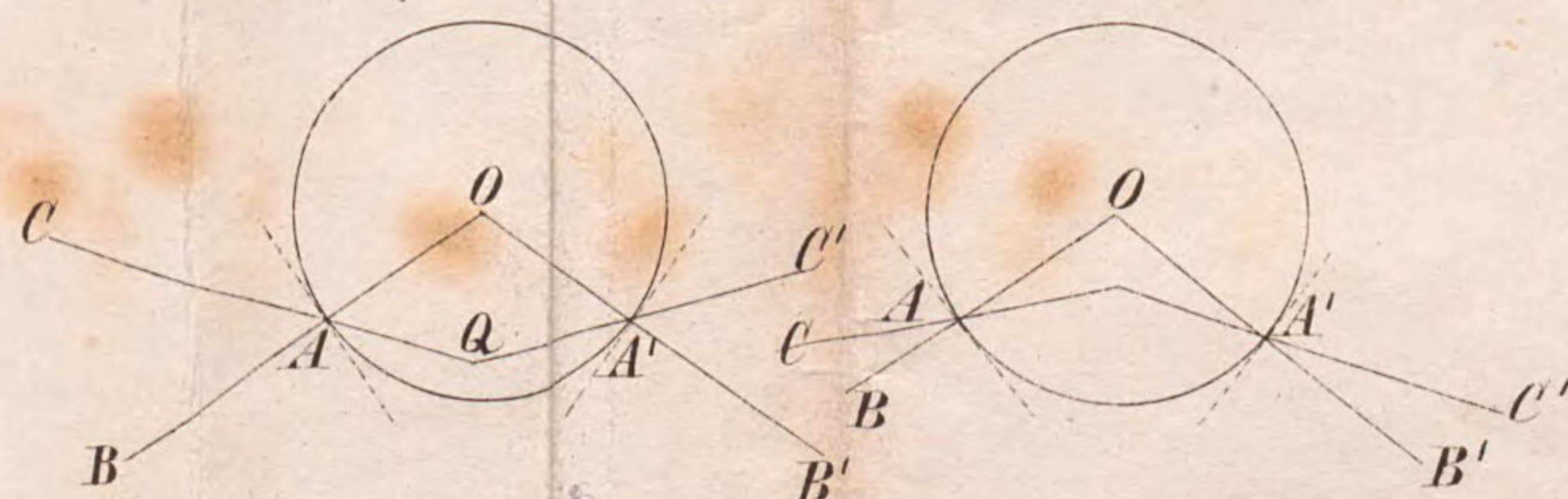


Fig. 4.

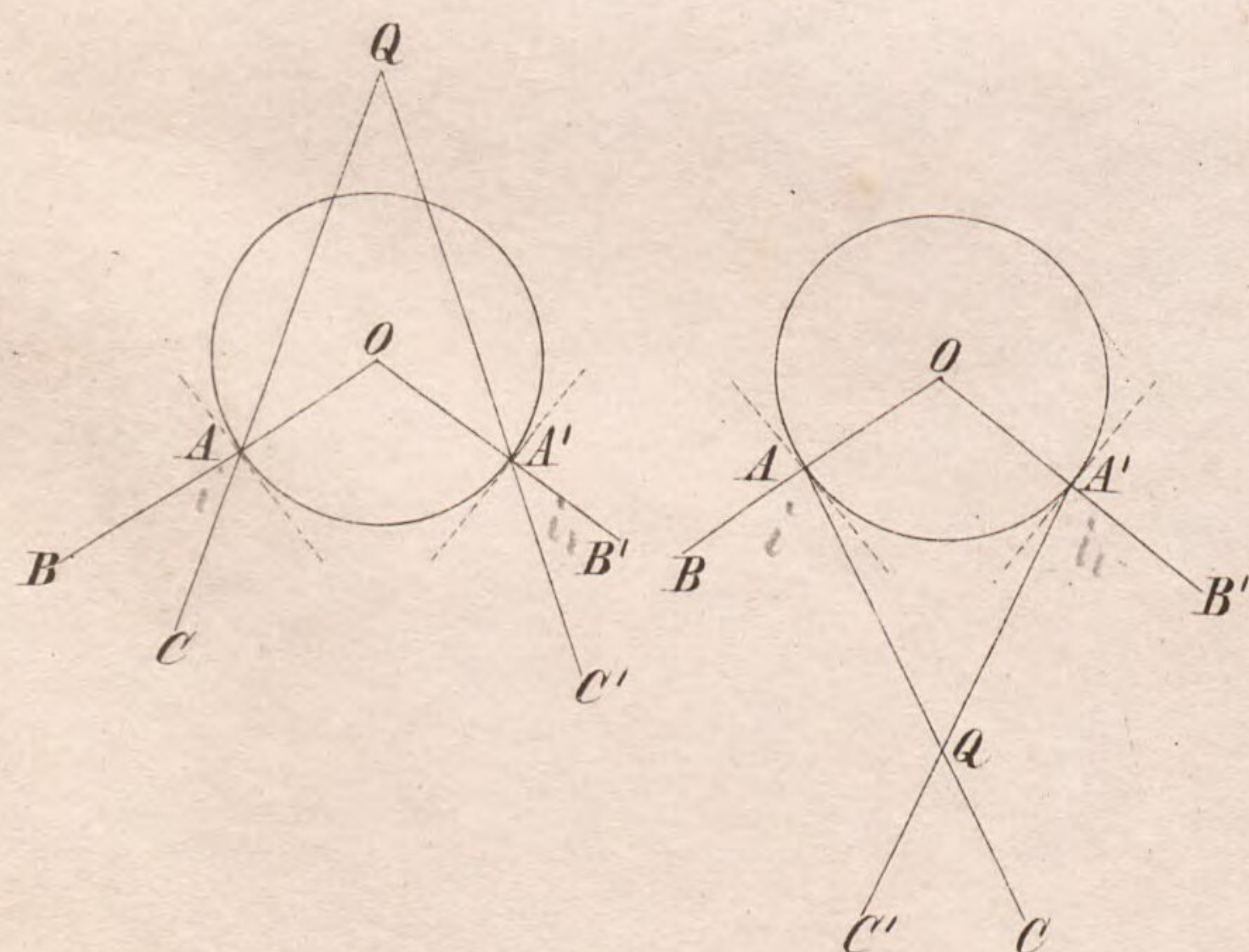


Fig. 6.

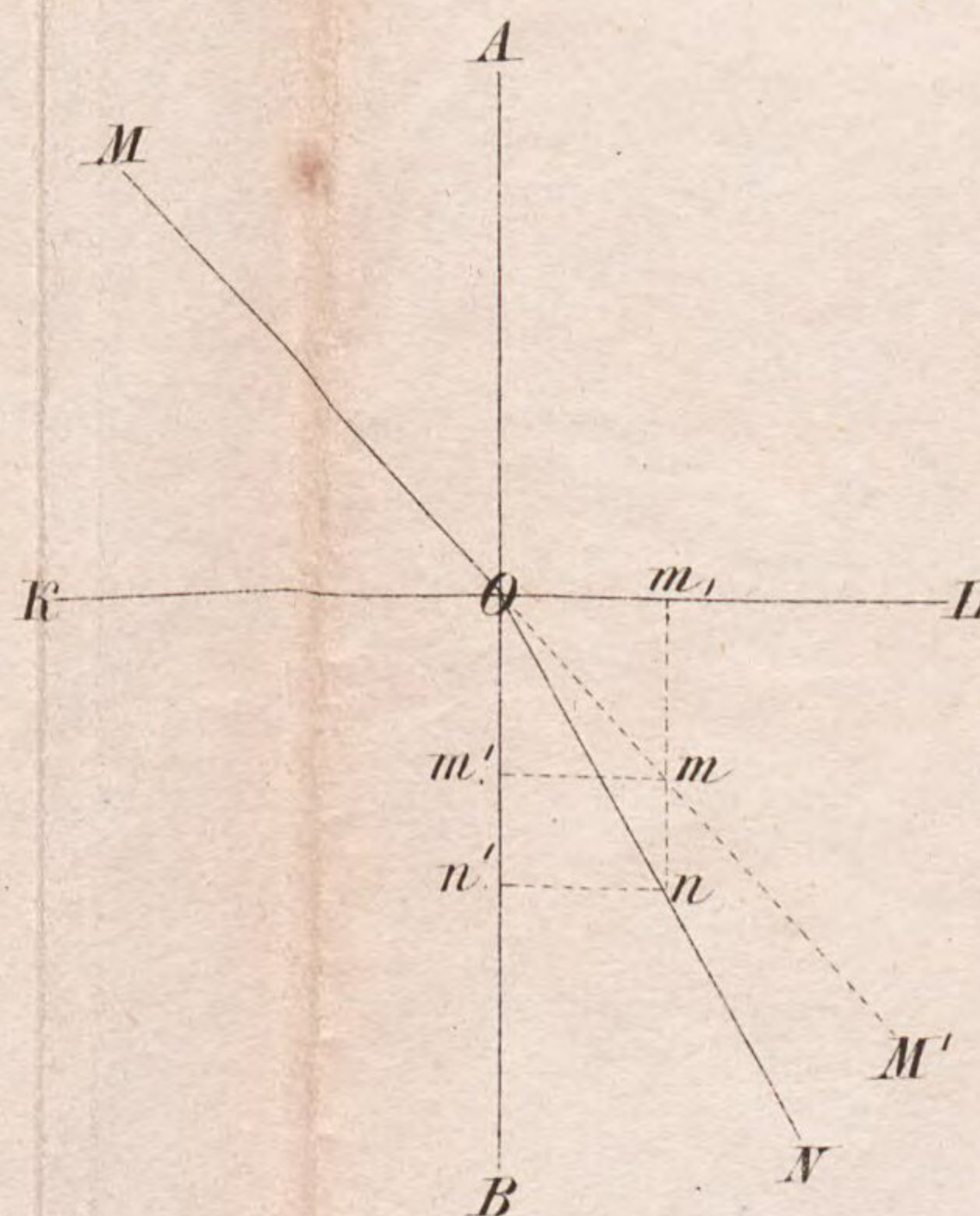
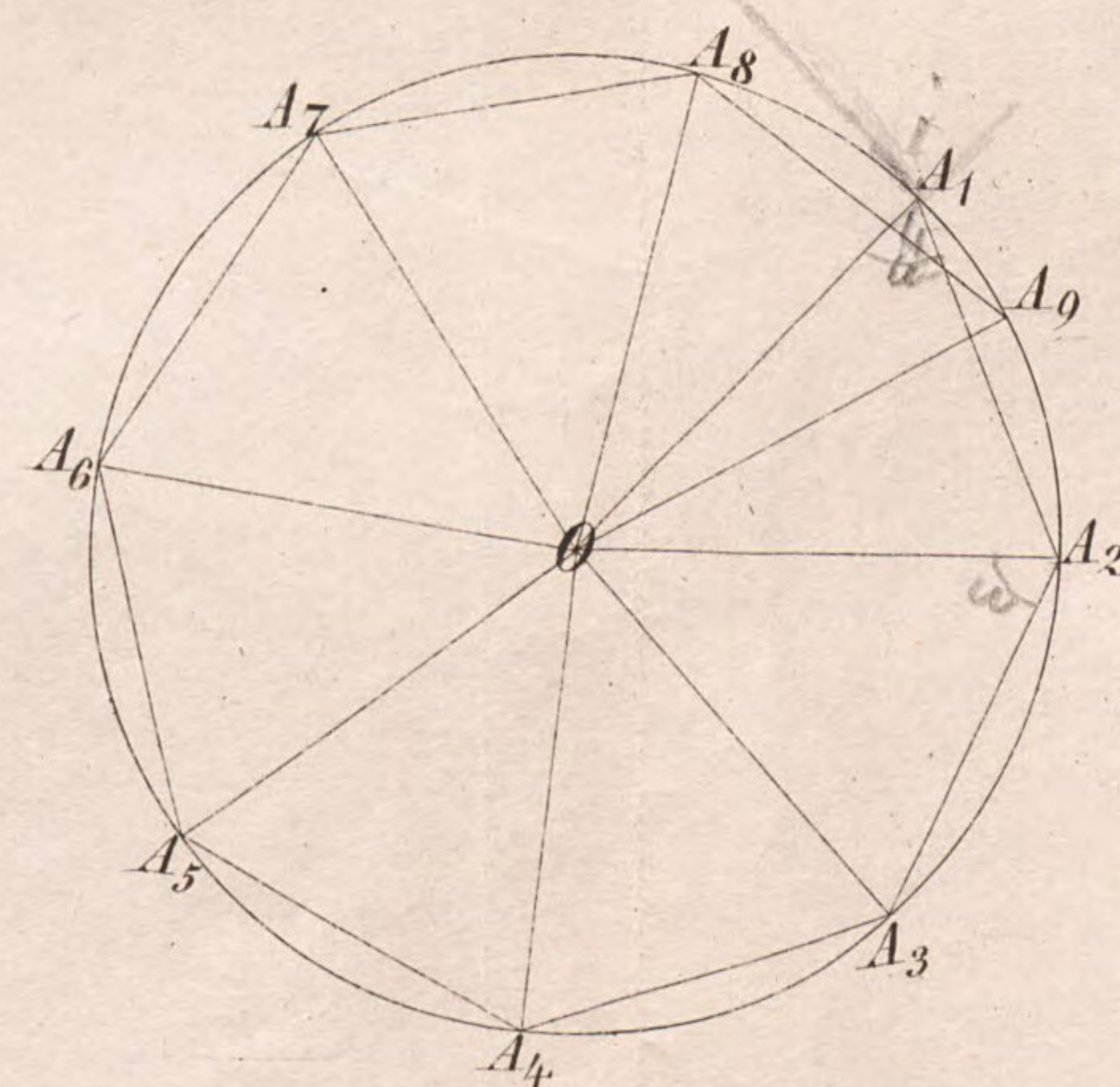
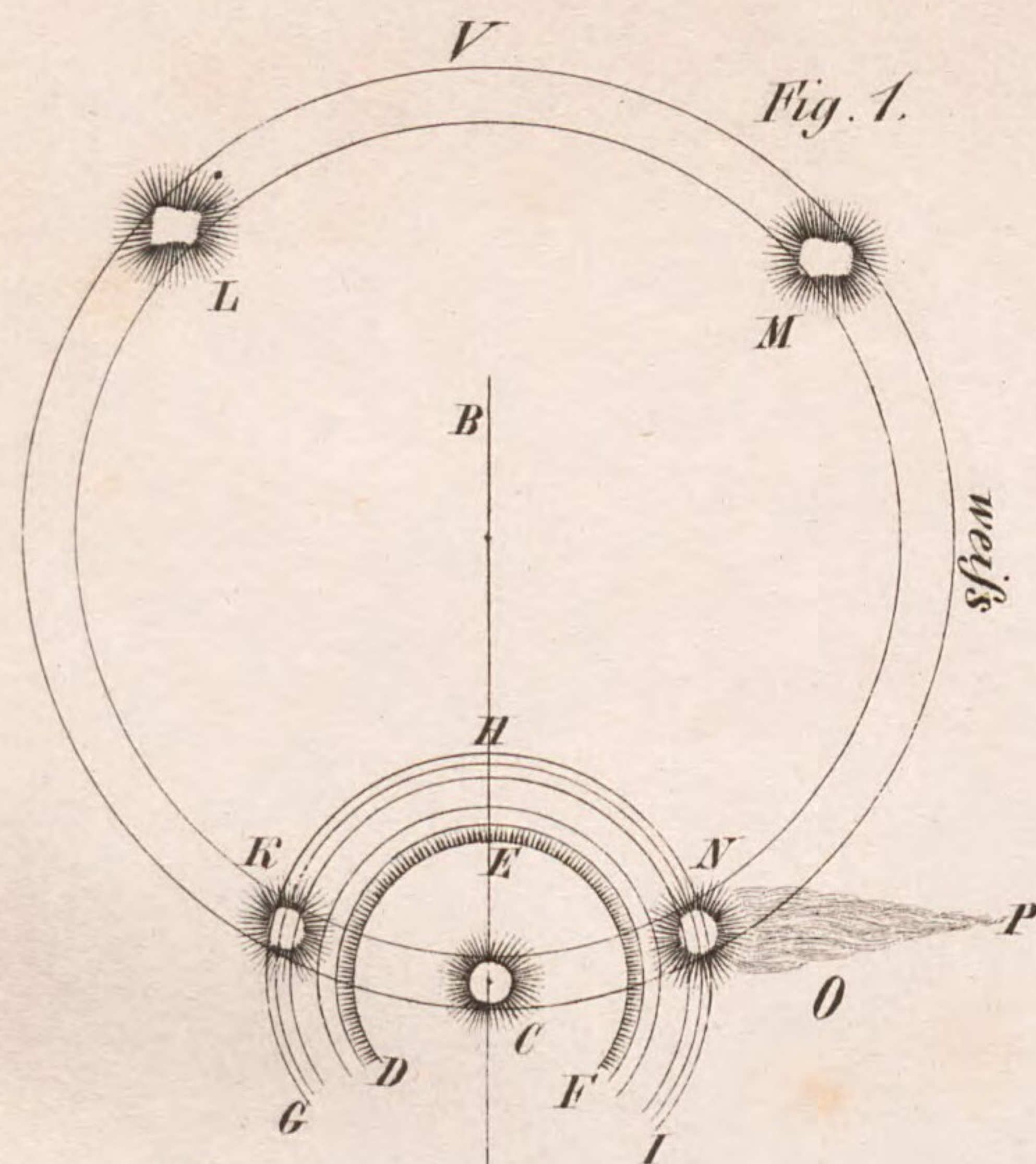
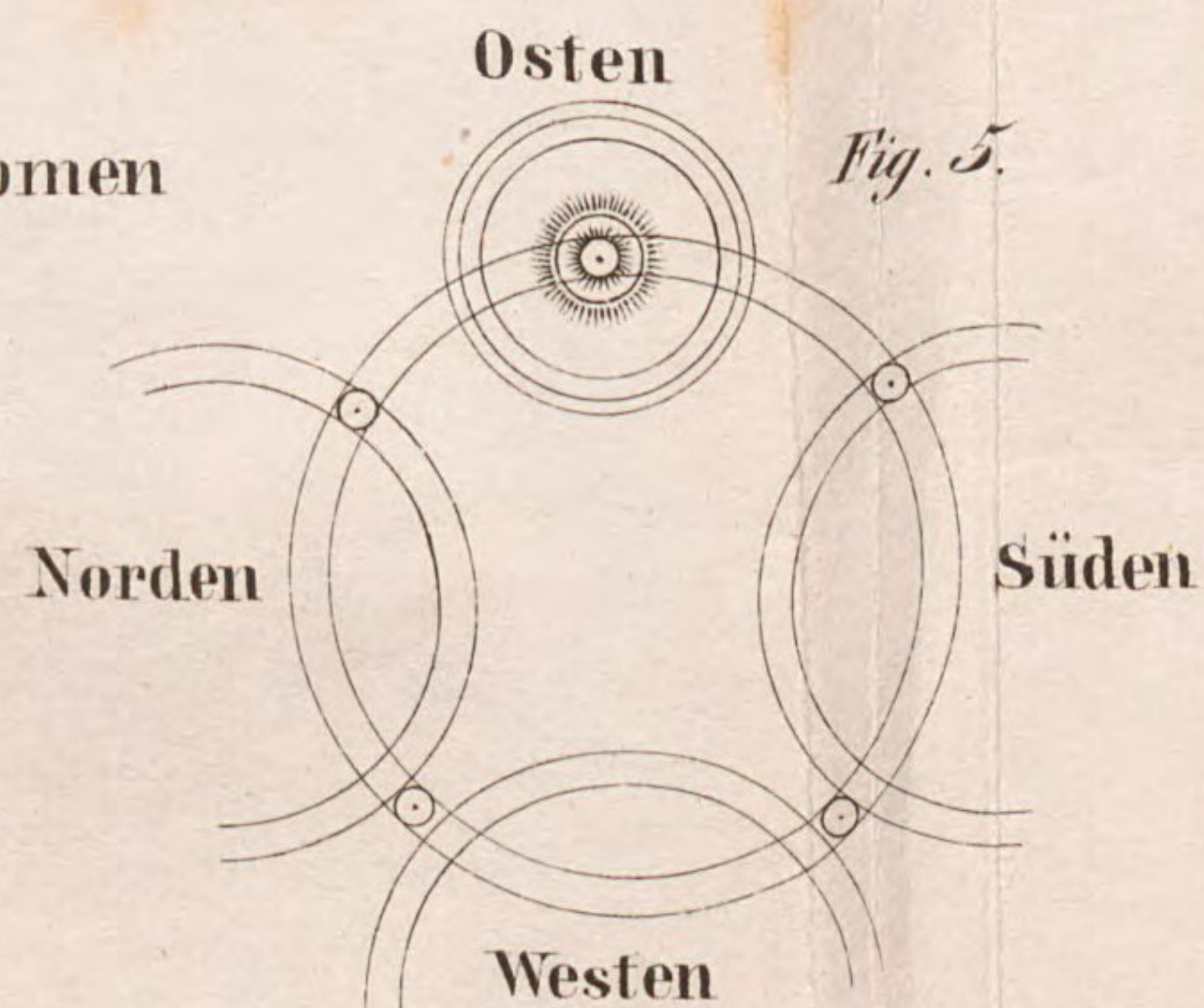


Fig. 5.

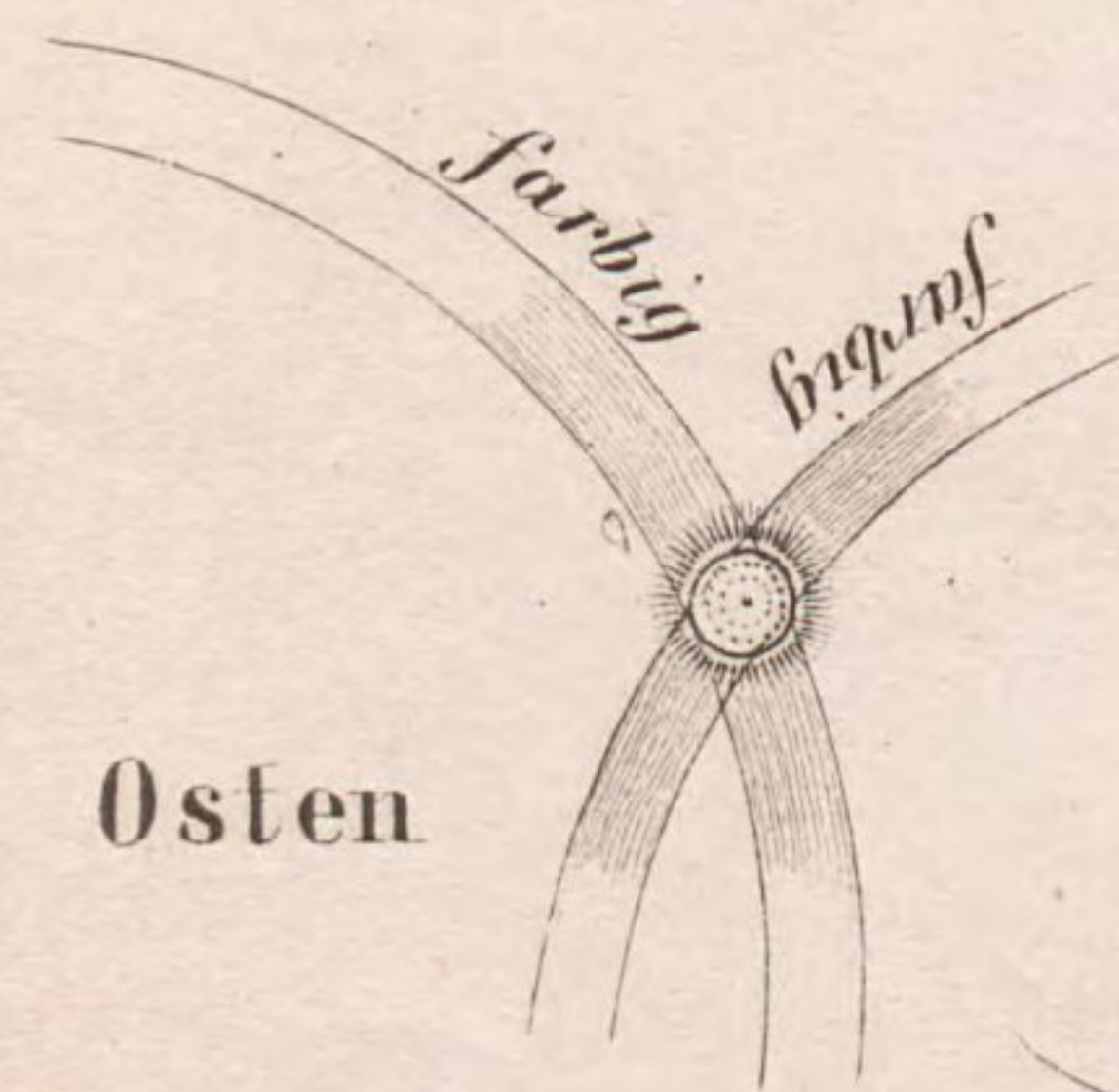




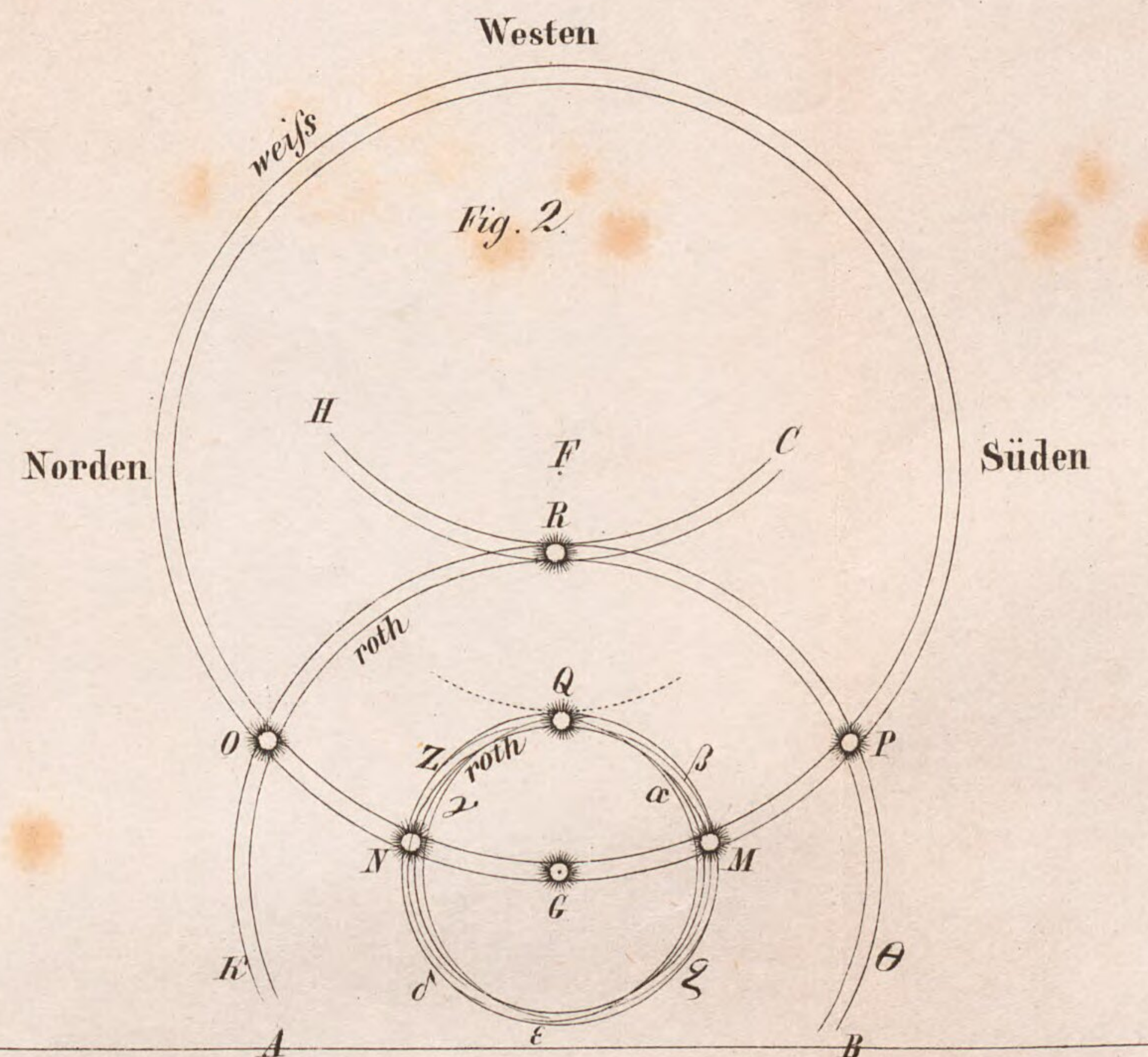
Römische Phaenomen
20. März 1629.



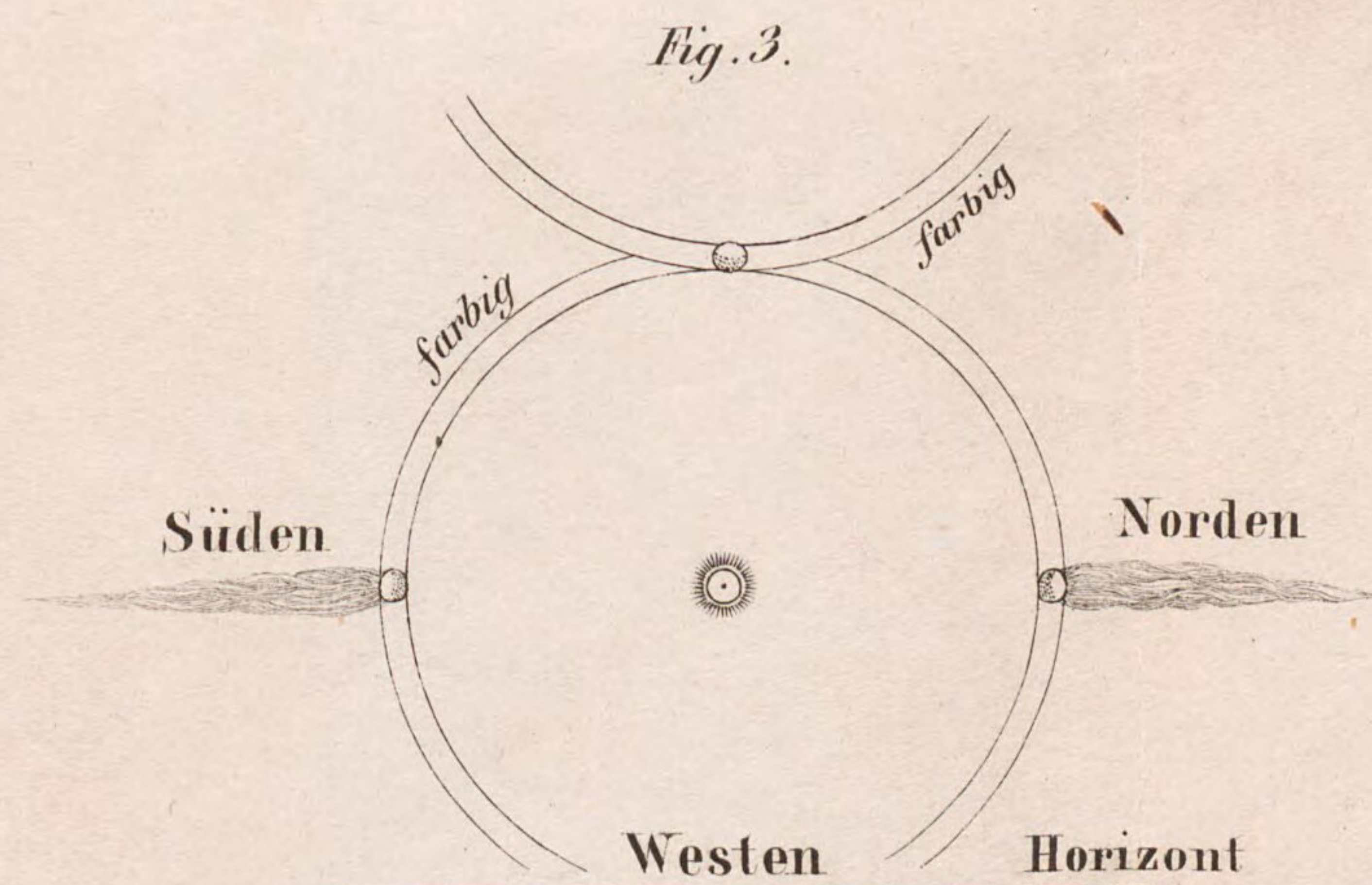
Norden
Süden
Westen



Gegen Sonne.
Danzig, 6. Sept. 1661.

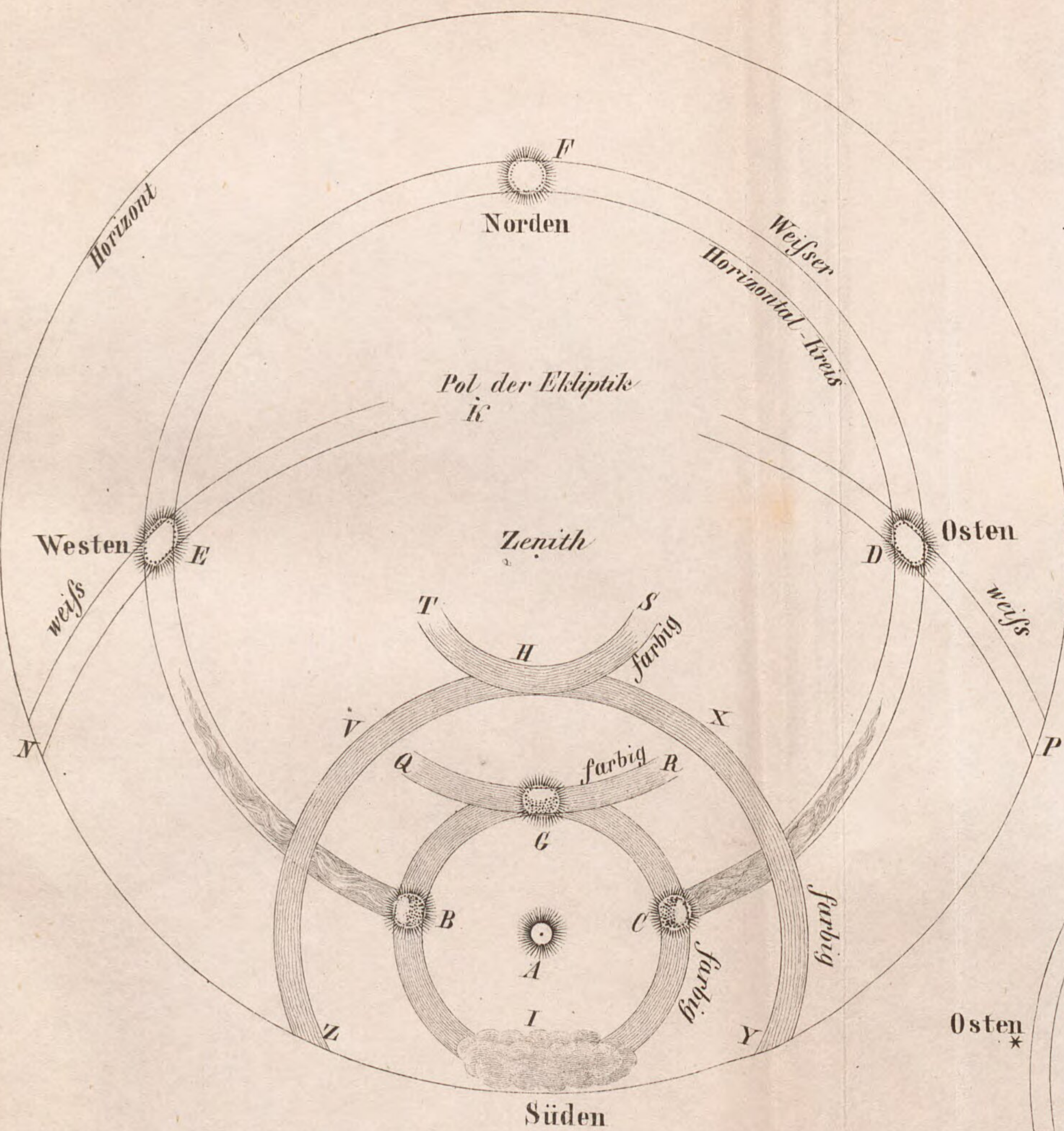


Römische Phaenomen
v. Jahre 1630.



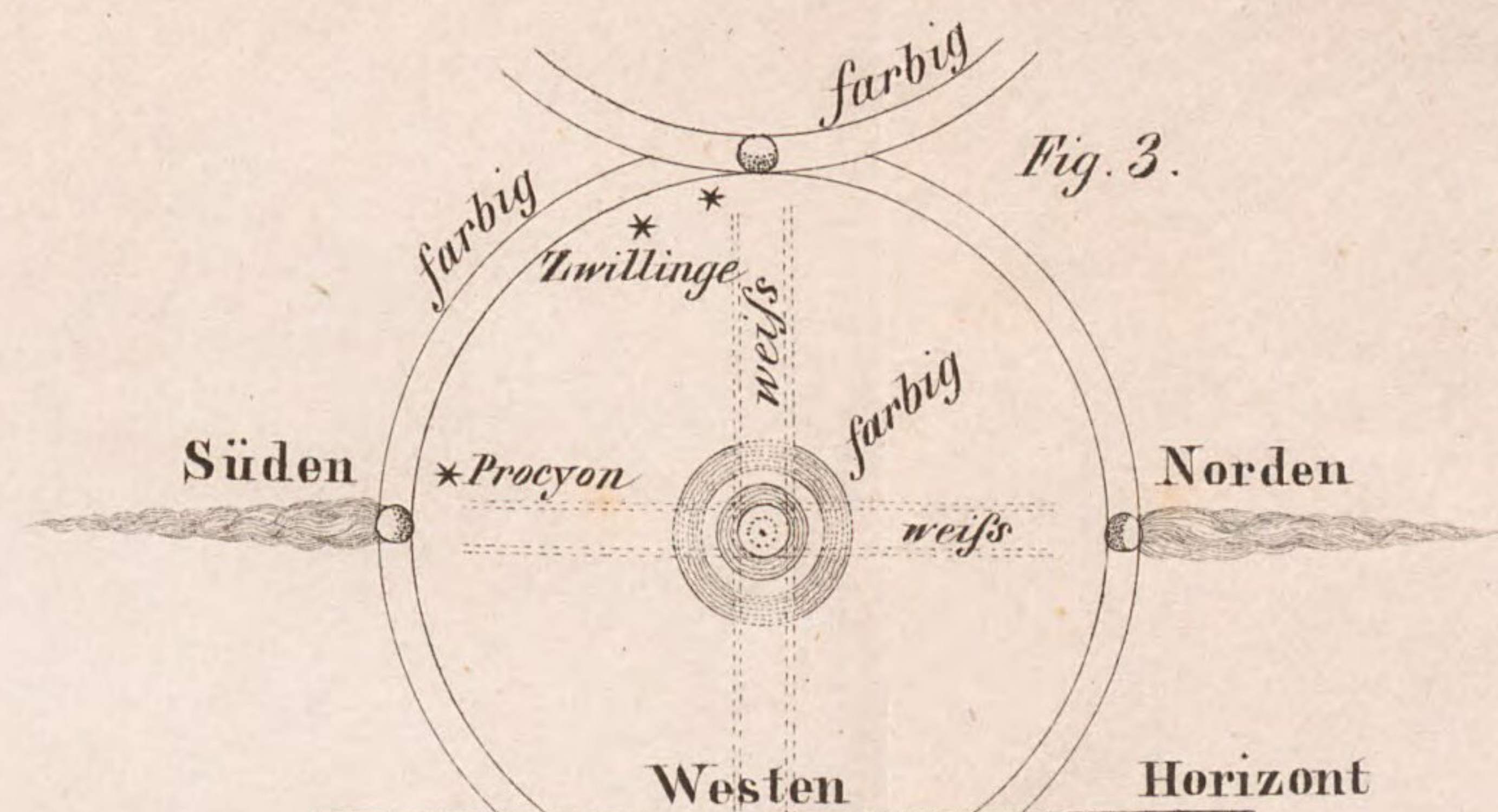
Nebensonnen.
Danzig, 6. April 1660.

Fig. 1.



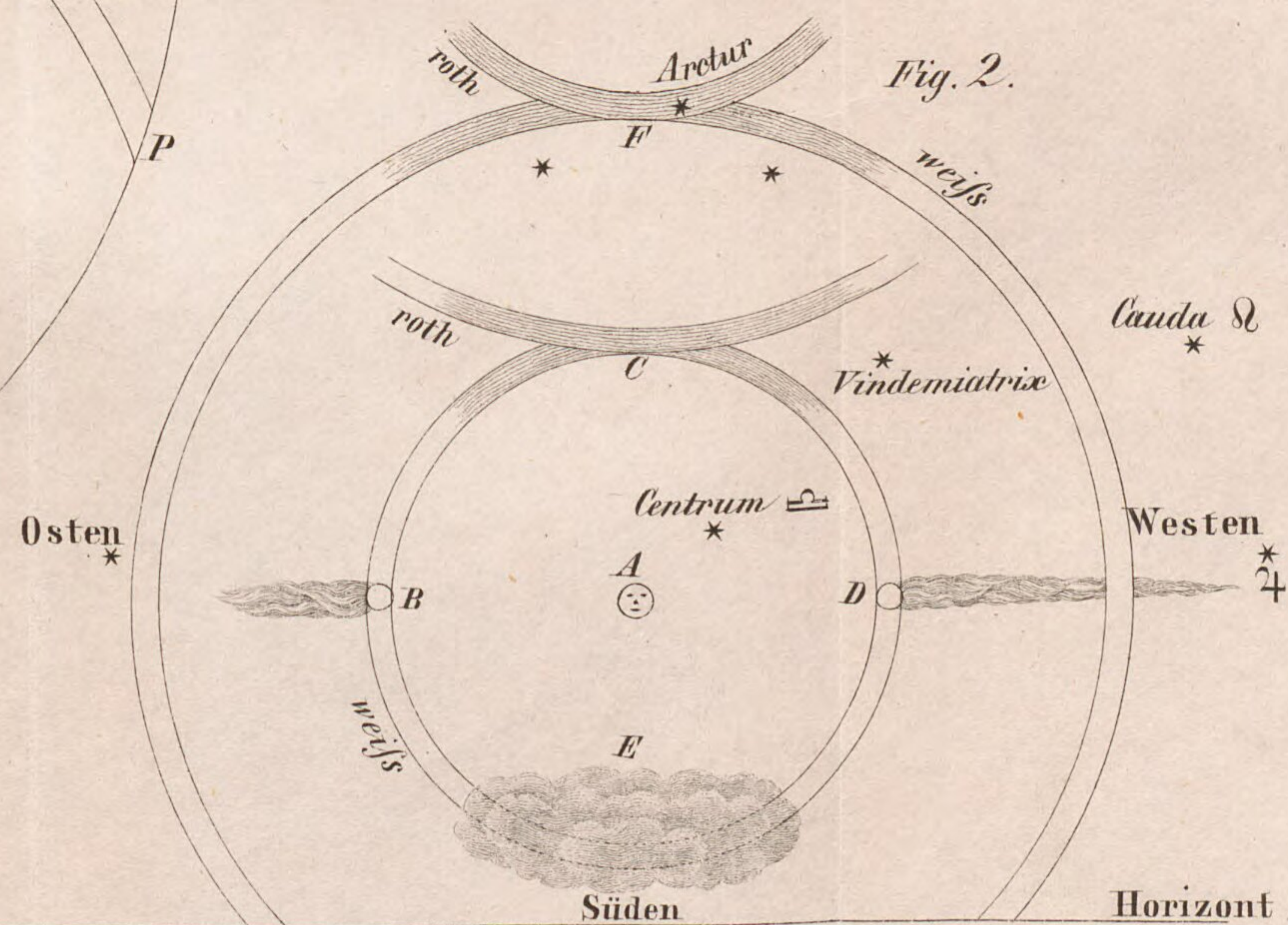
Danziger Phaenomen
20. Febr. 1661.

Fig. 3.



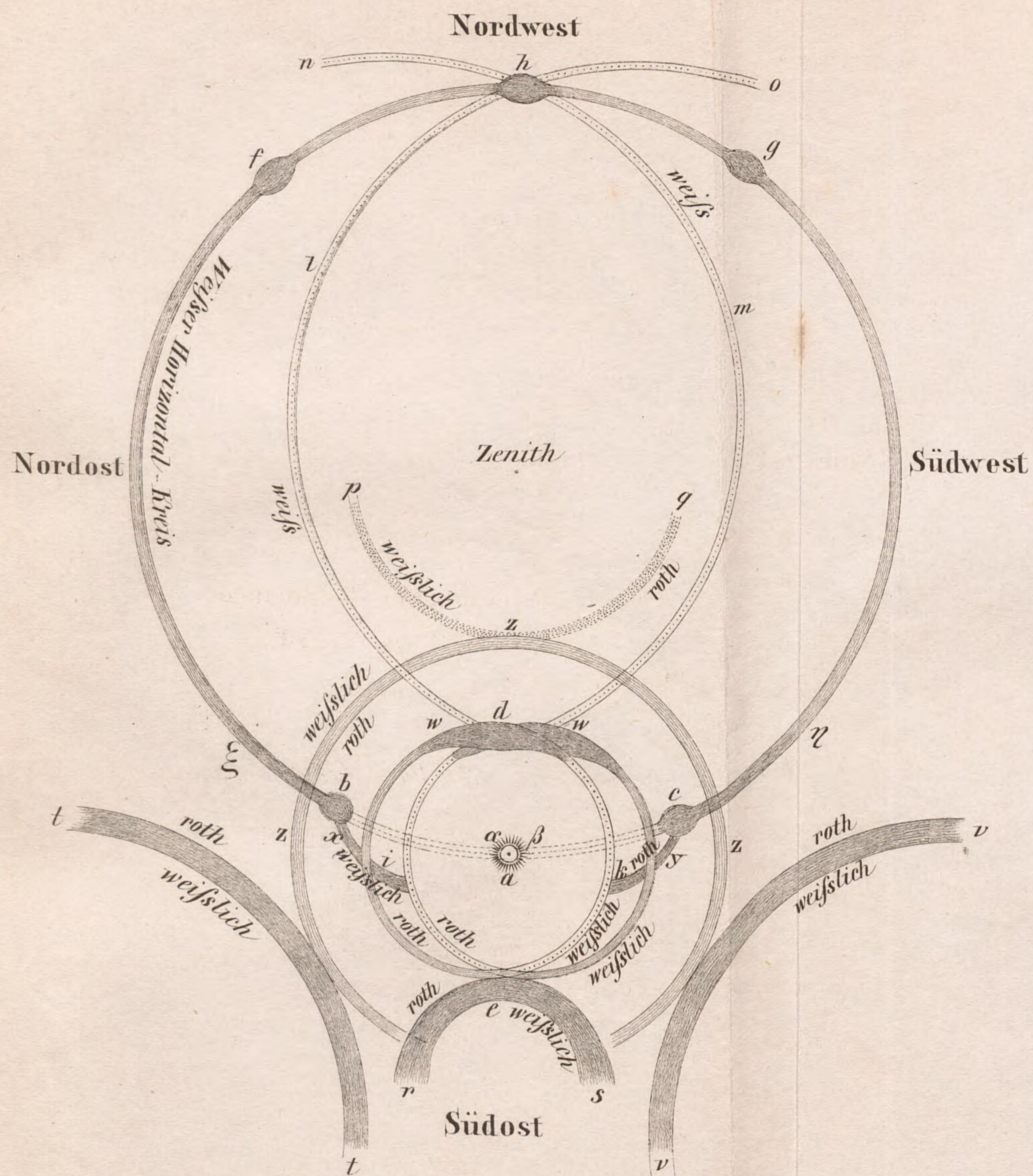
Nebenmonde.
Danzig, 17. Dec. 1660.

Fig. 2.



Nebenmonde.
Danzig, 30. März 1660.

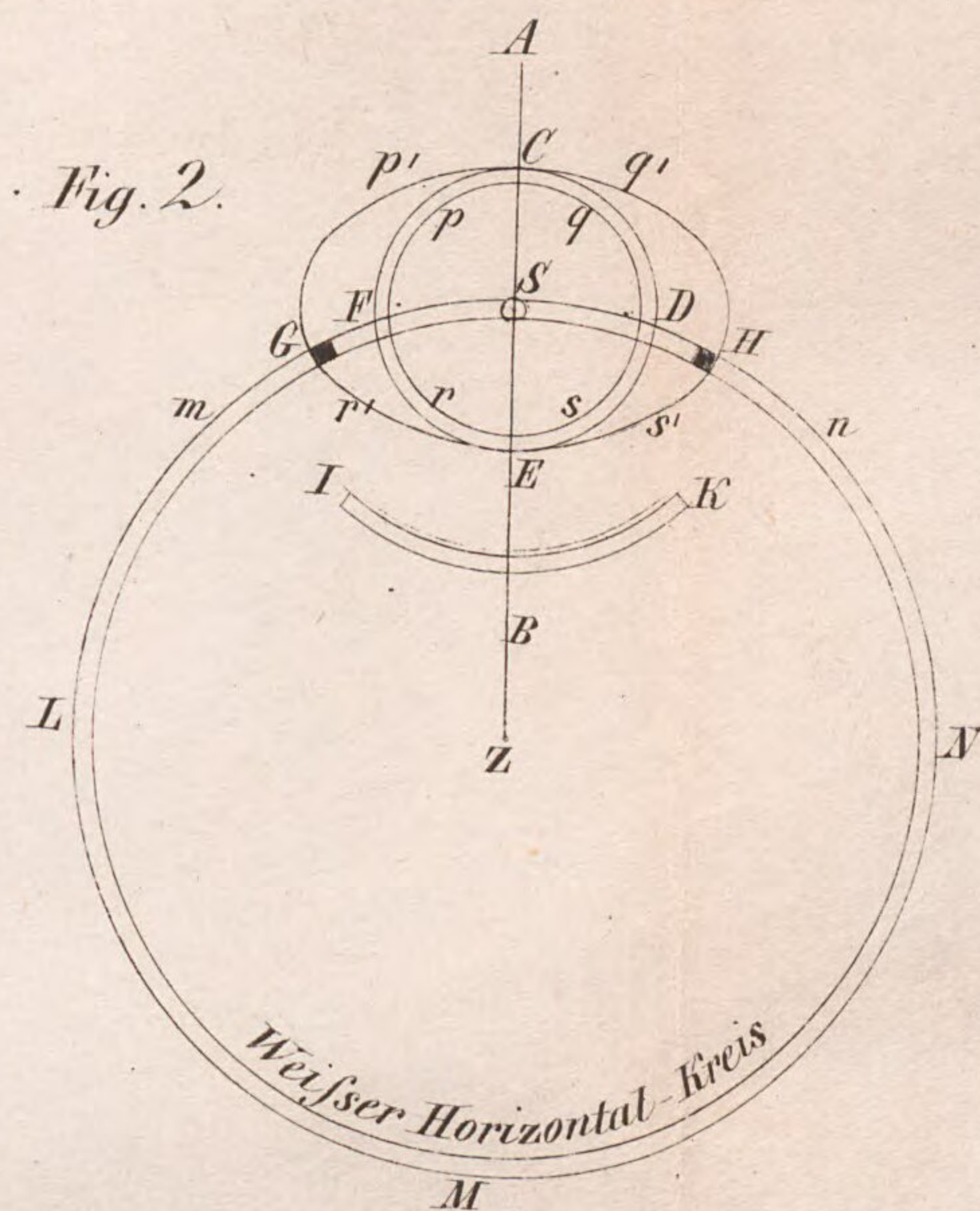
Fig. 1.



Petersburger Phaenomen

18. Juni 1790.
29

Fig. 2.



Petersburger Phaenomen

23. April 1758.

13. Mai 1758.

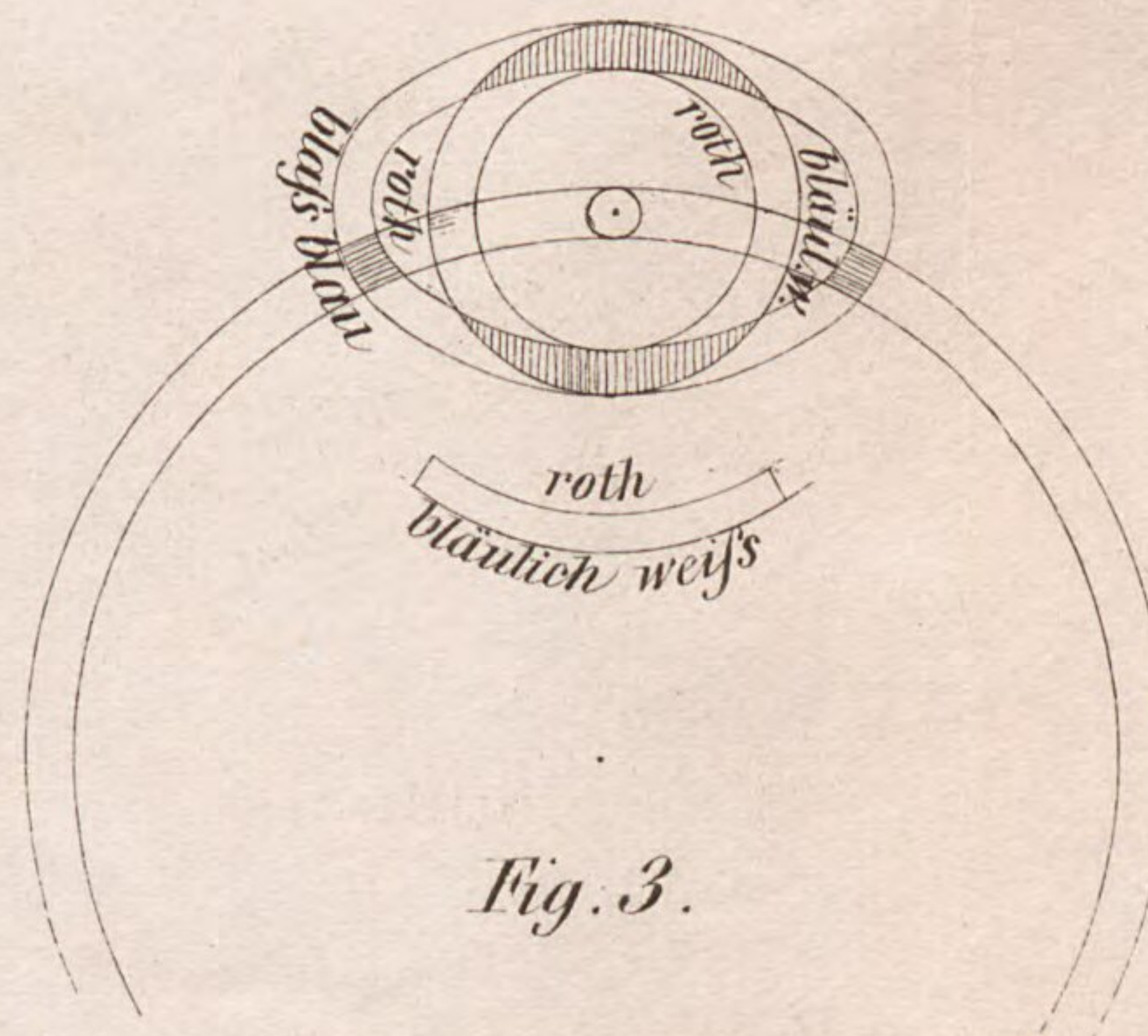


Fig. 3.



Petersburger Phänomen

3. Jan. 1786

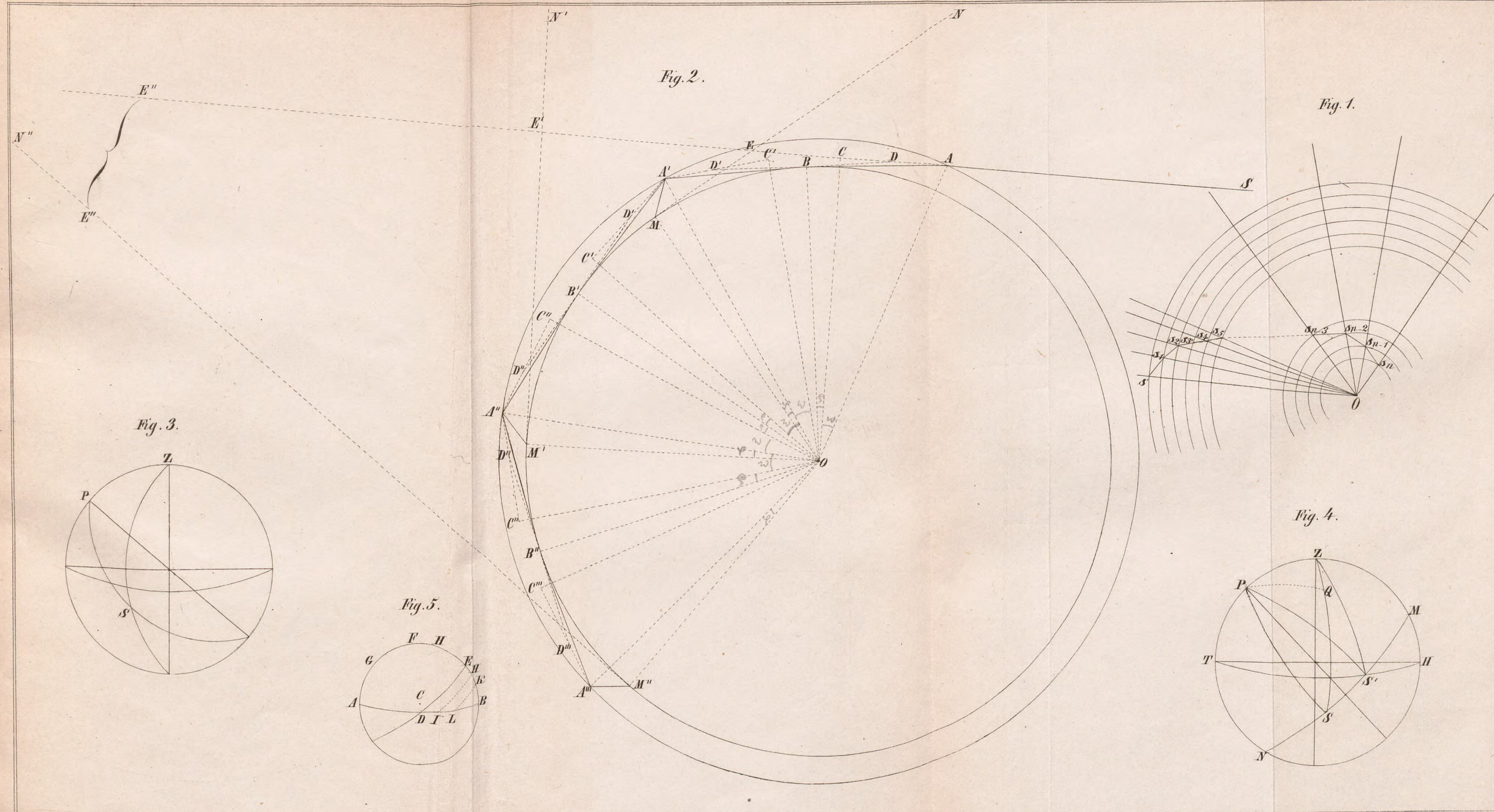


Fig. 1

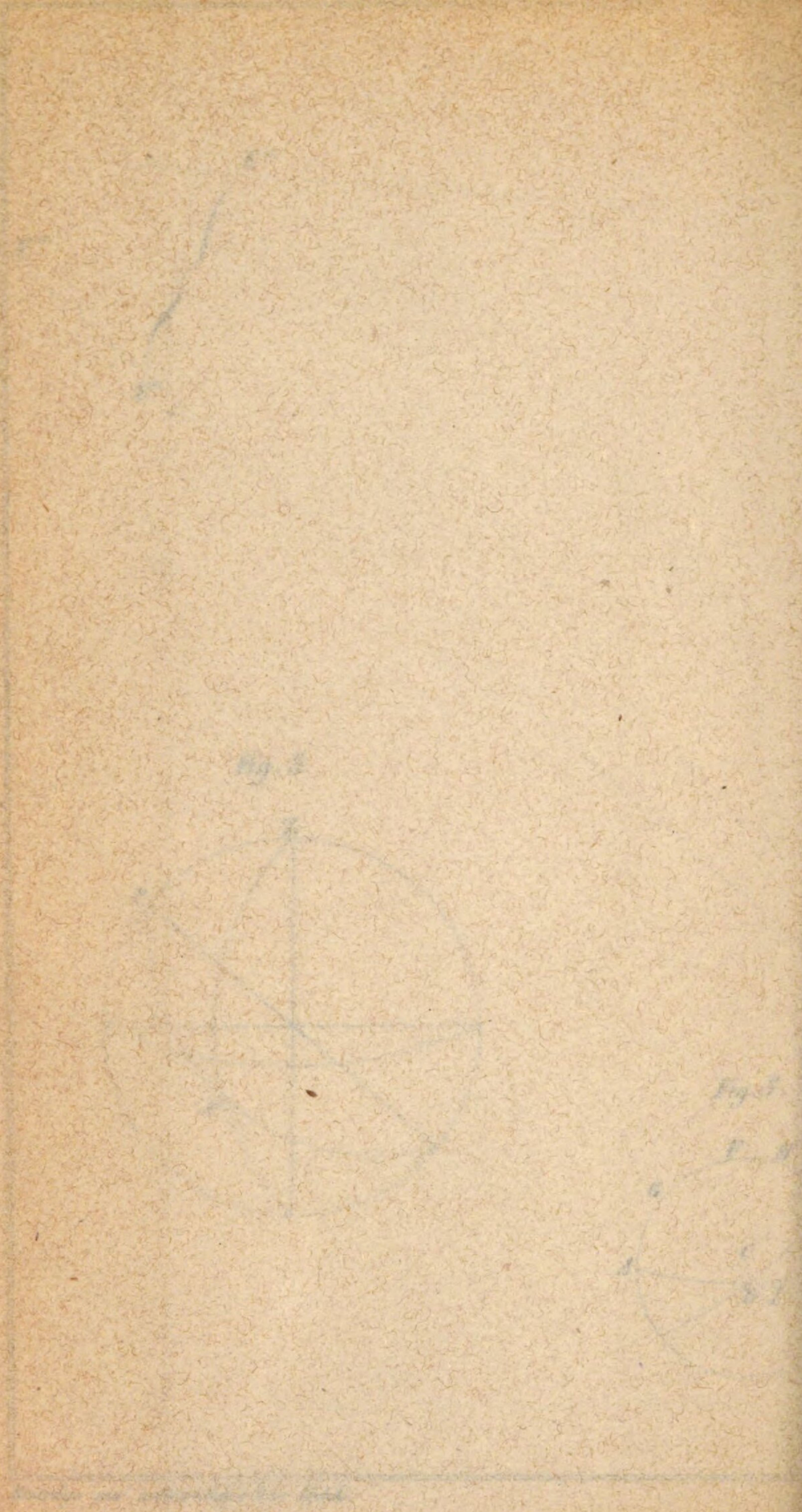


Fig. 2

Fig. 3

Fig. 4

Fig. 1.

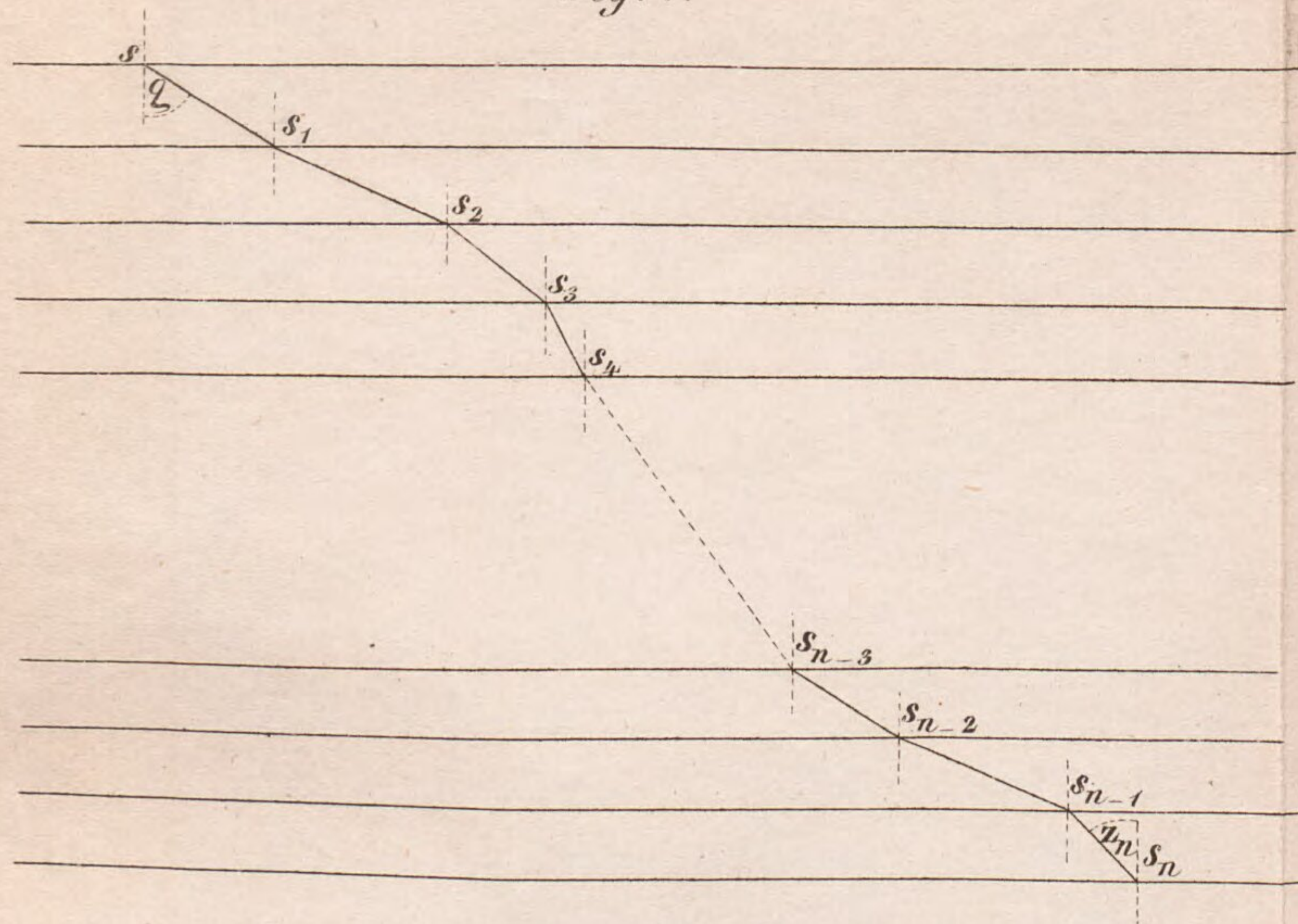


Fig. 1*.

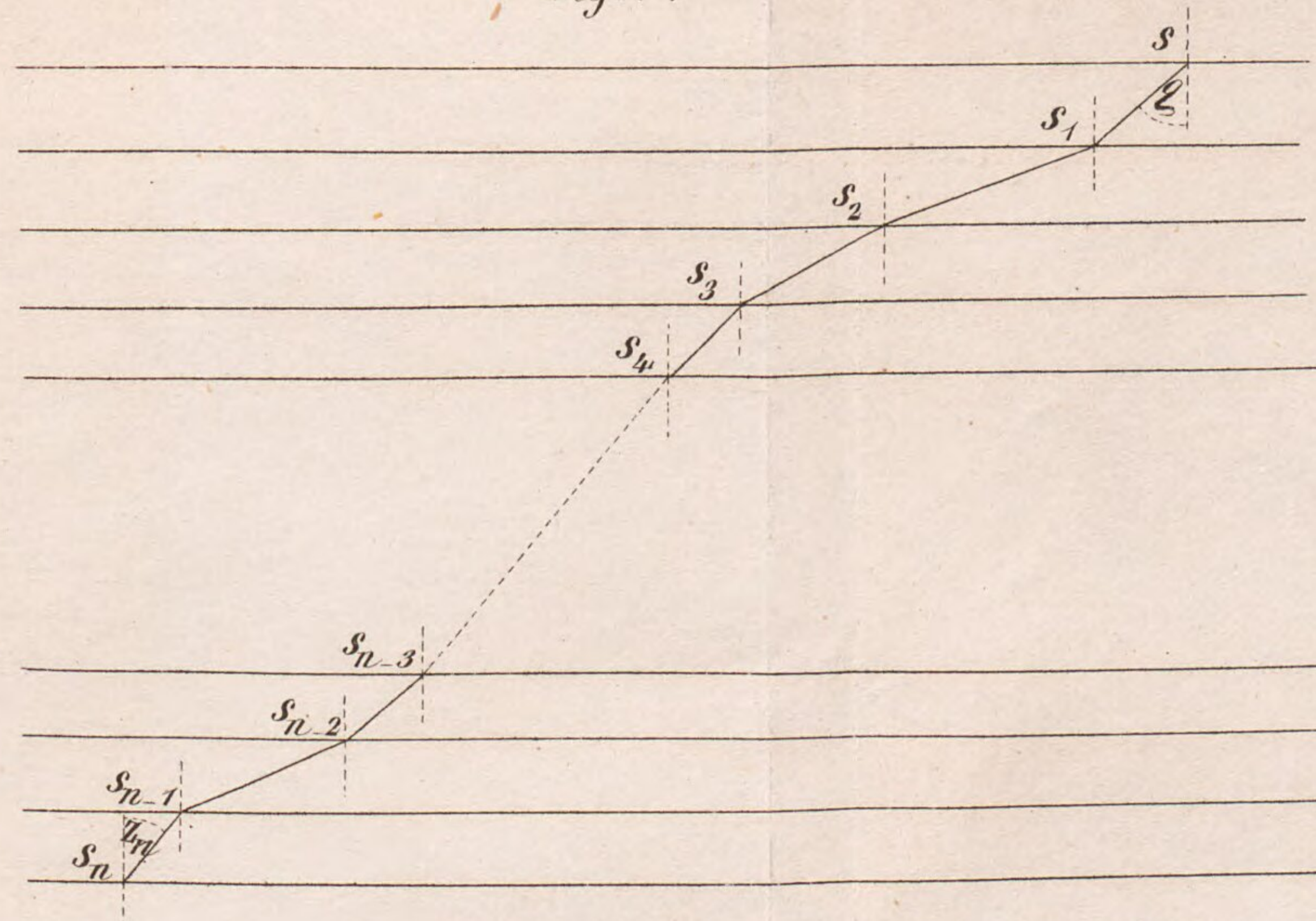


Fig. 2.

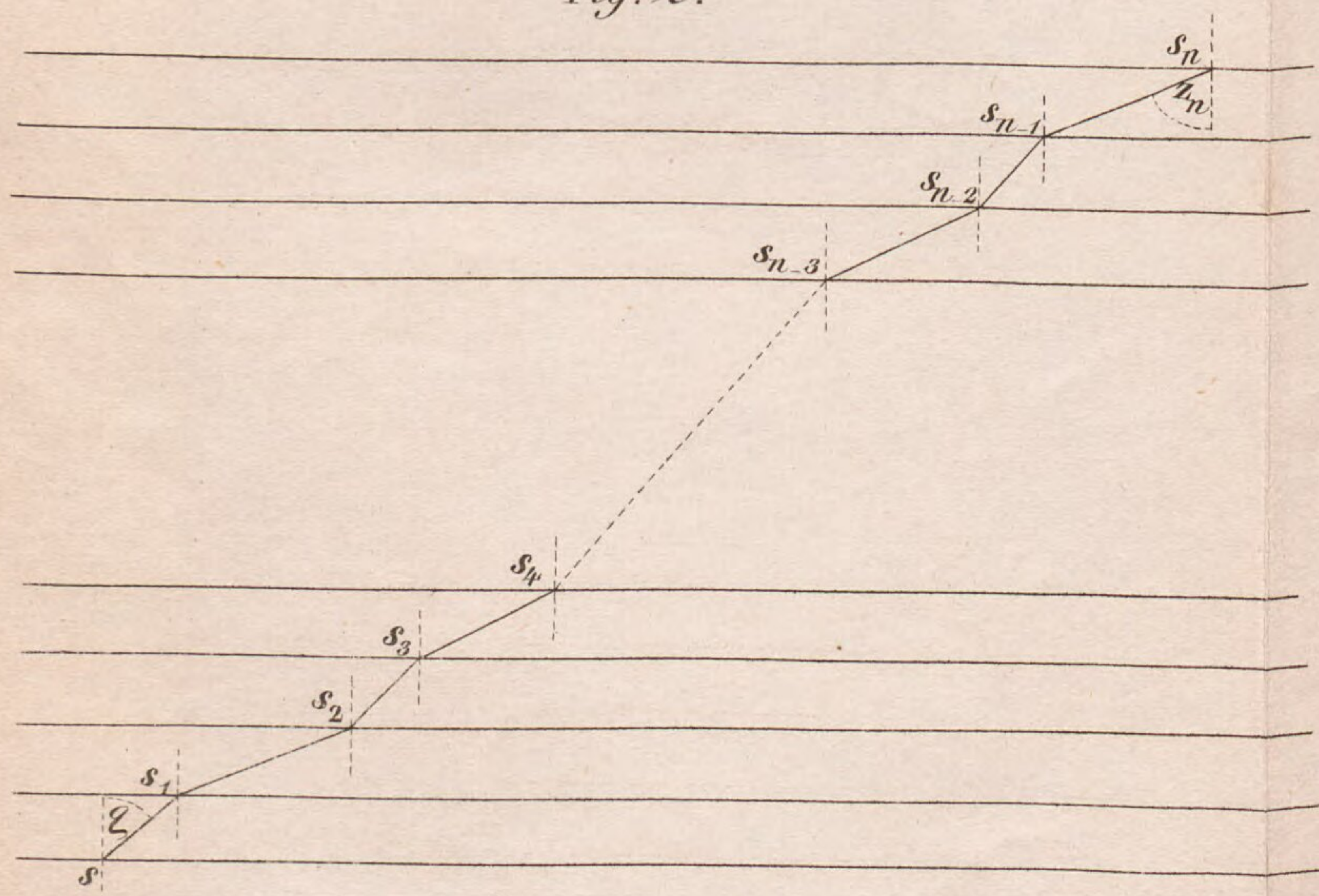
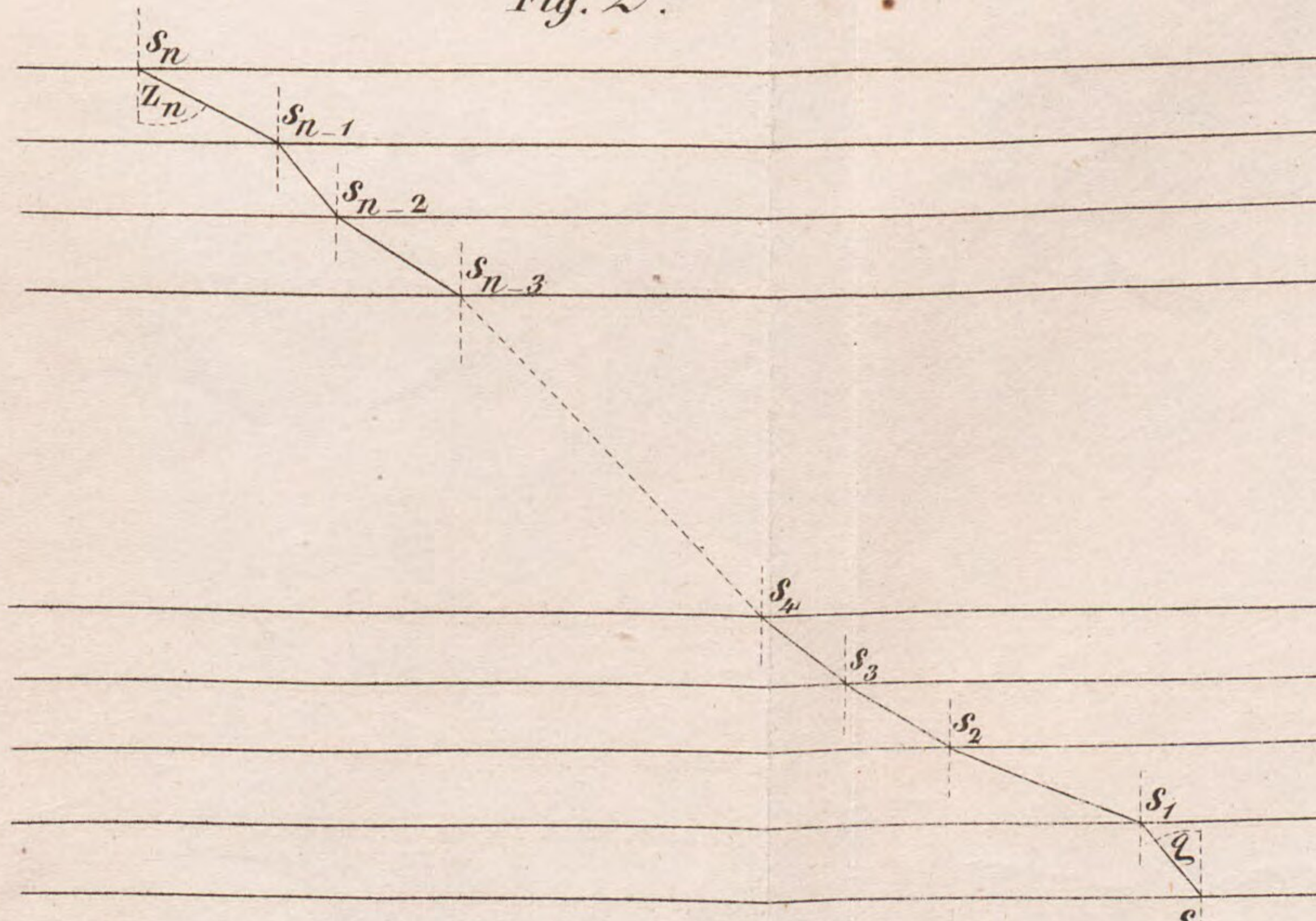


Fig. 2*.



Die positiven x liegen nach rechts, die positiven y nach oben.

Die ersten 10 Seiten sind
mit handschriftlichen Notizen
besetzt. Die Notizen sind
in deutscher Sprache verfasst
und betreffen die Beschreibung
der verschiedenen Arten von
Fossilien, die in der Sammlung
vorhanden sind. Die Notizen
sind in einer sehr eleganten
Handschrift verfasst und sind
sehr sorgfältig gehalten.

Fig. 1.

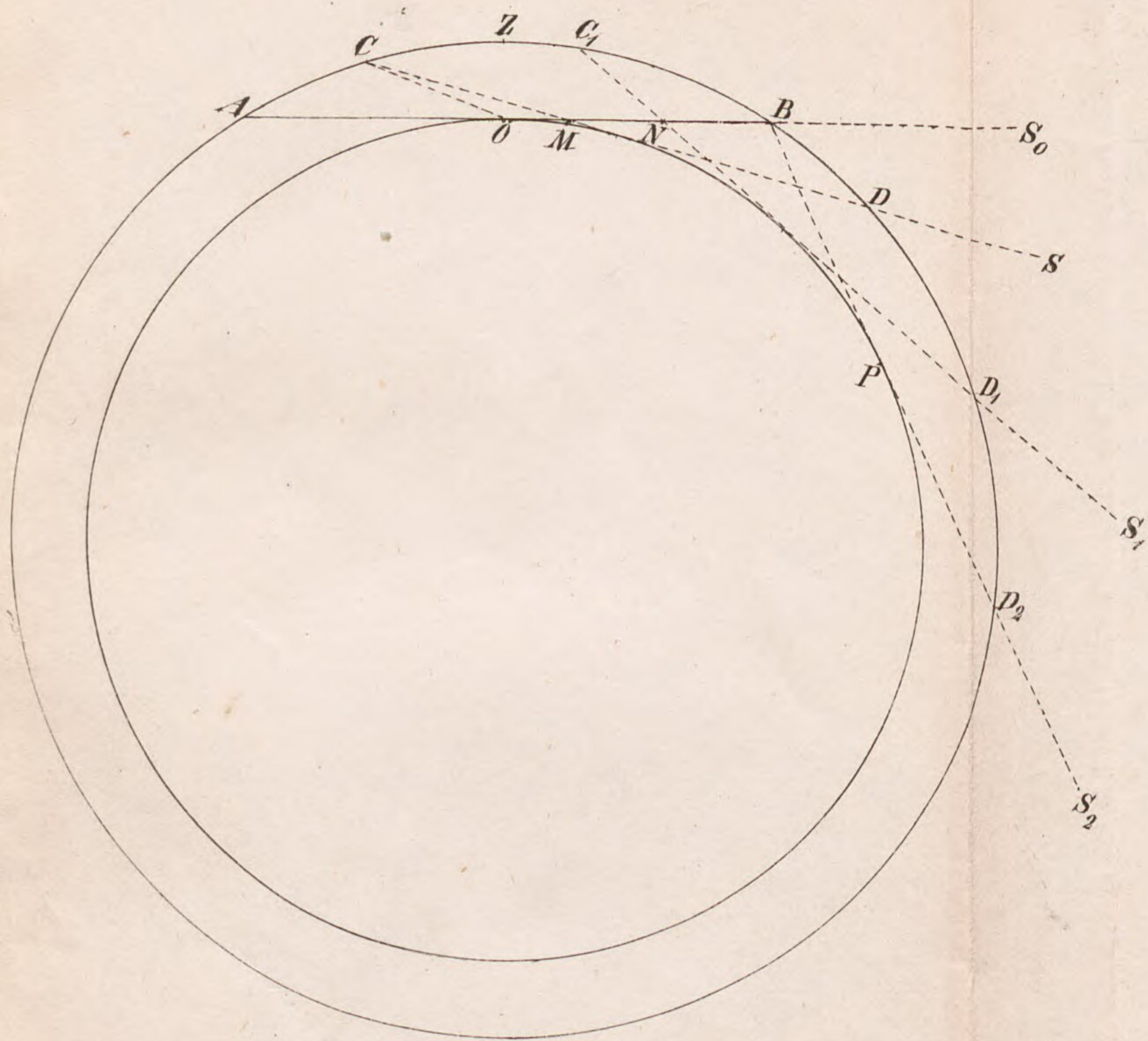


Fig. 1a.

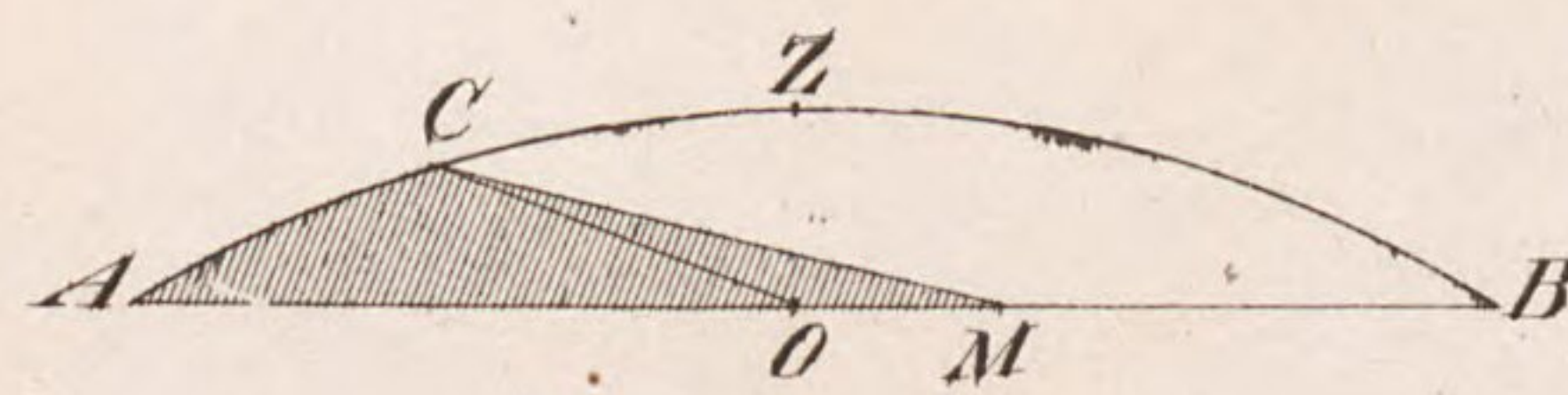


Fig. 1b.

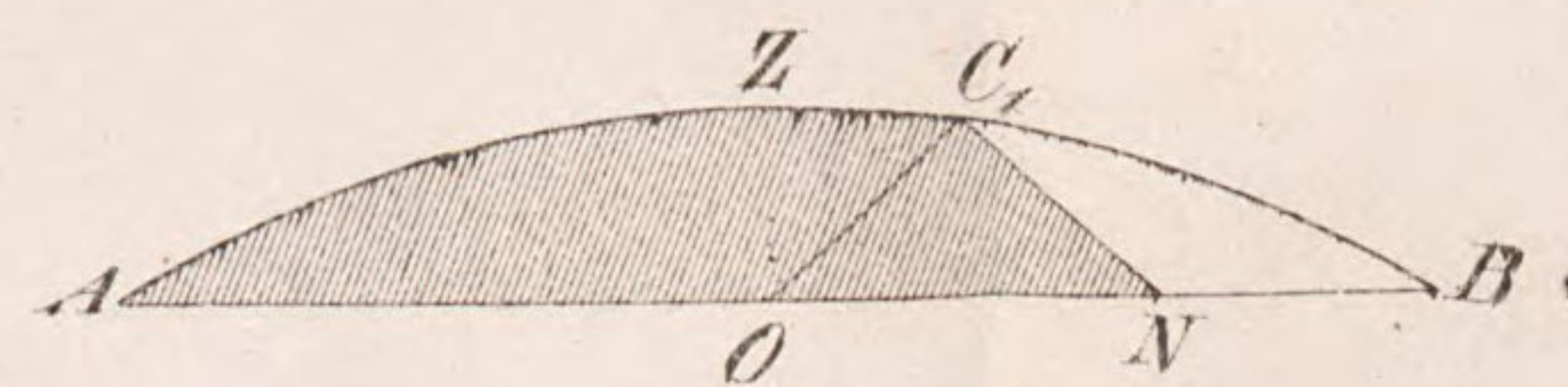


Fig. 2.

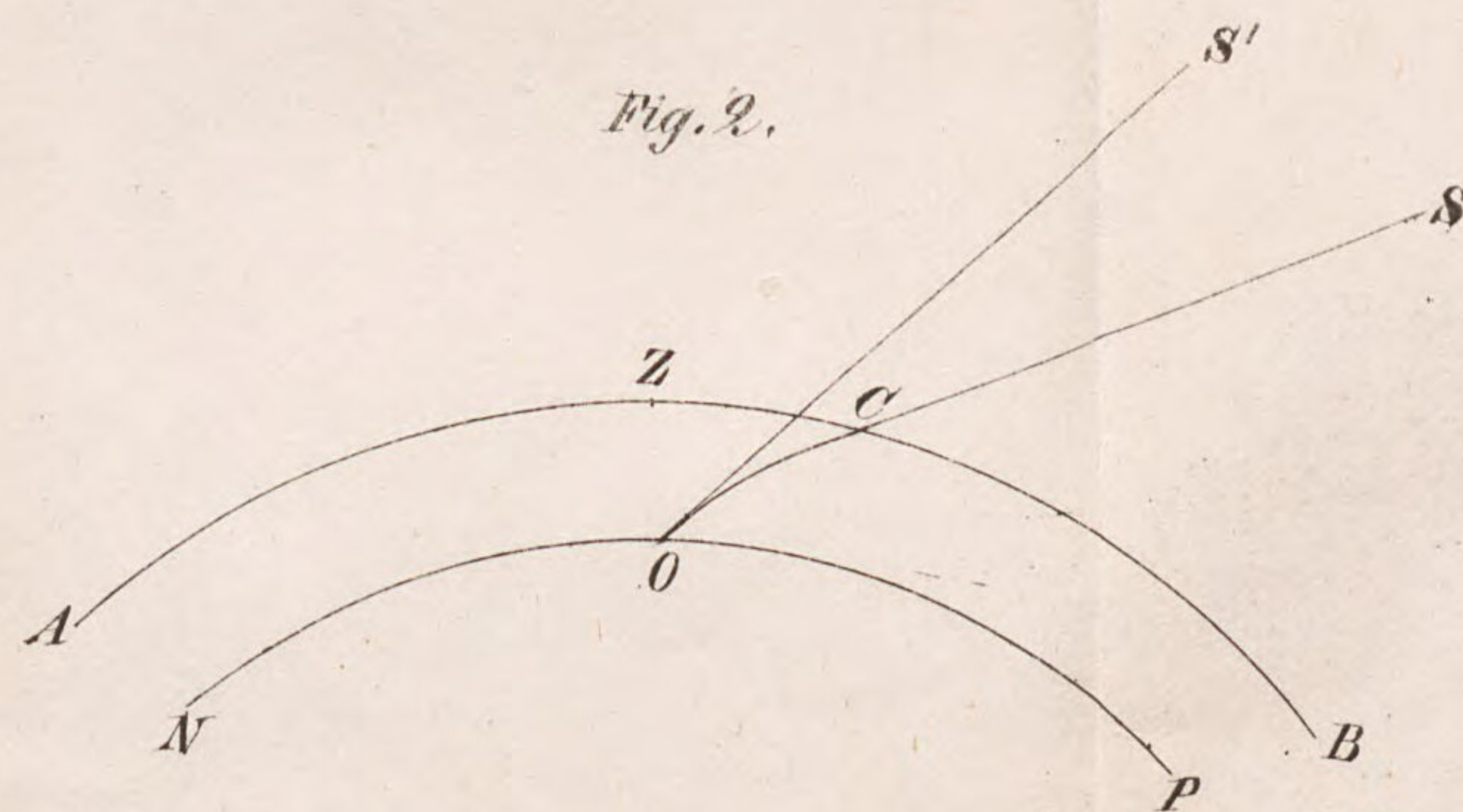


Fig. 3.

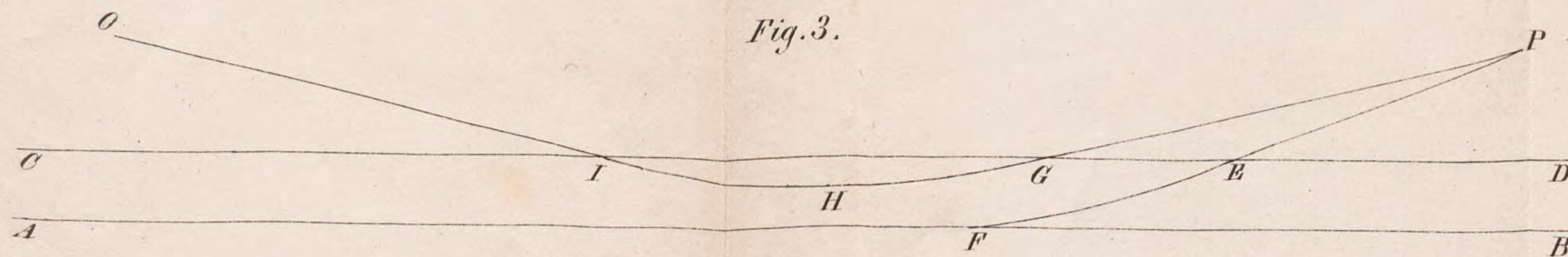


Fig. 1

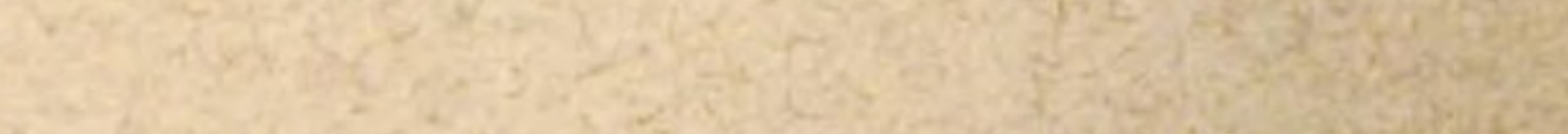
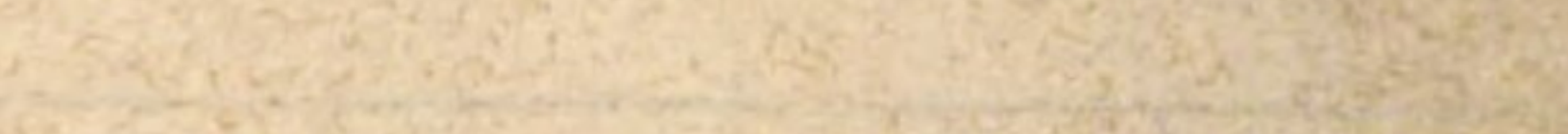


Fig. 3a.

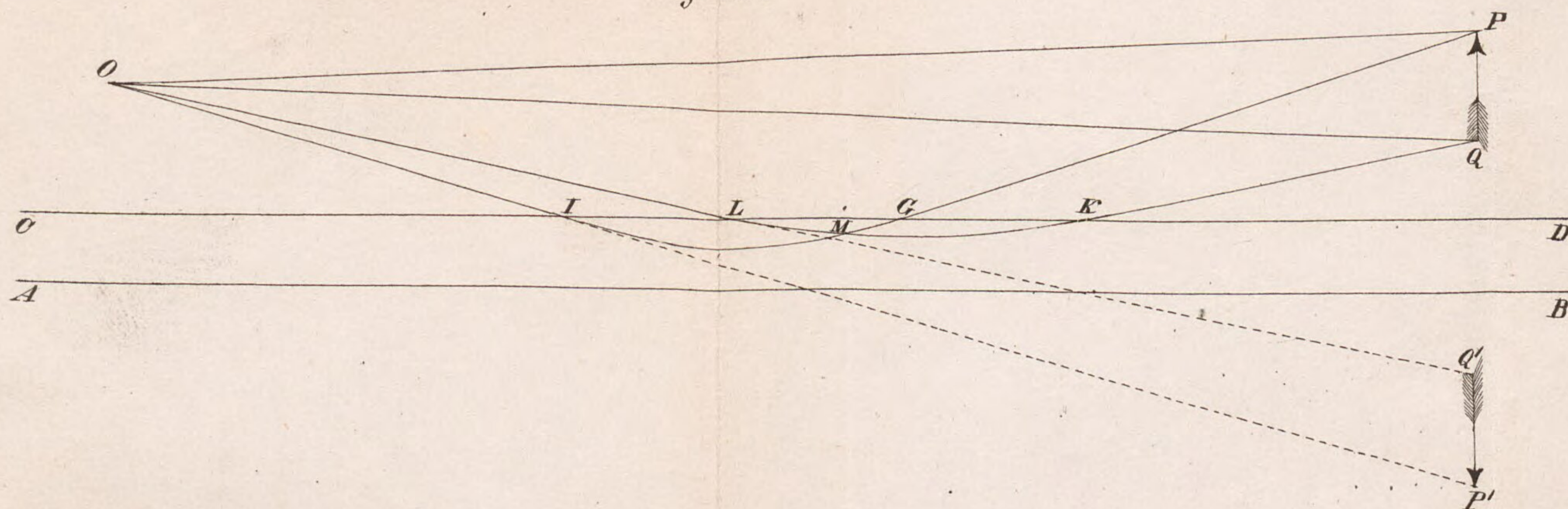


Fig. 4.

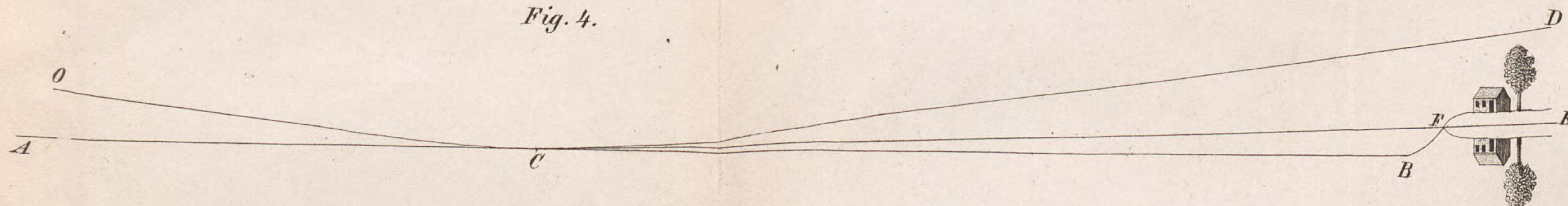
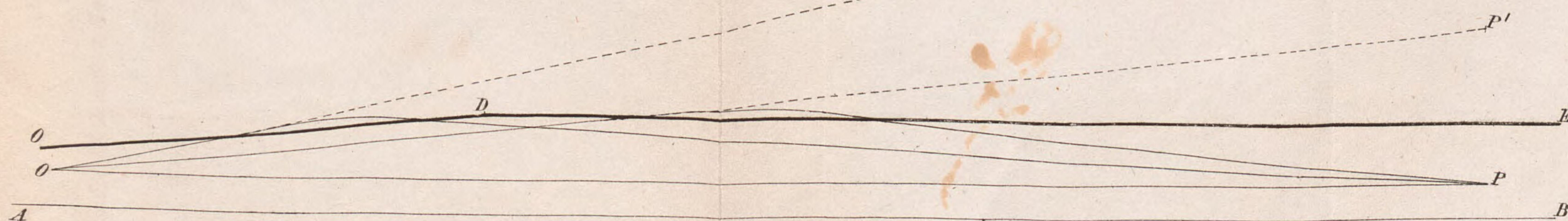


Fig. 6.



Page 1

[Faint, illegible handwriting on lined paper]

Fig. 5.

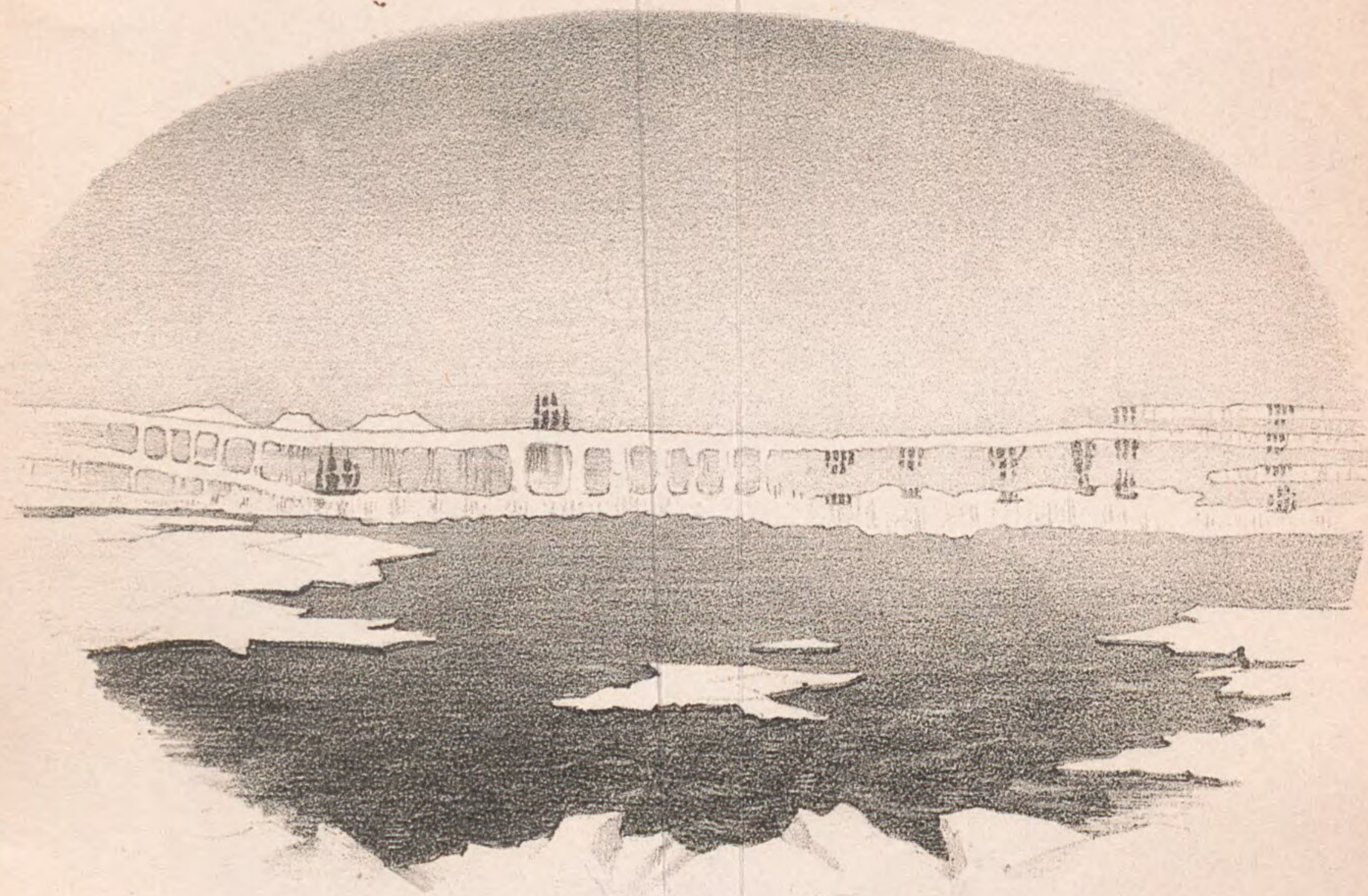


Fig. 7.

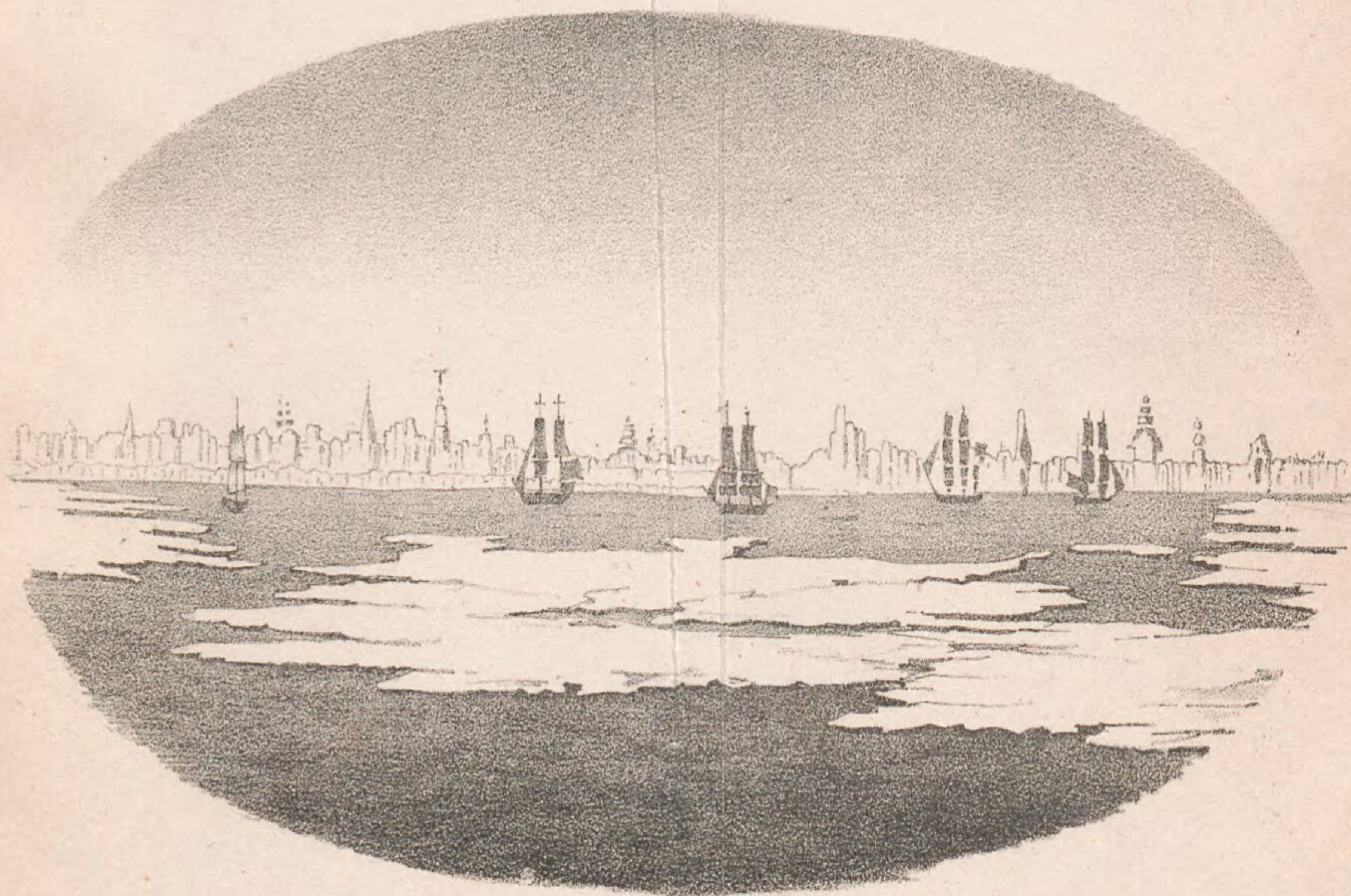


Fig. 8.

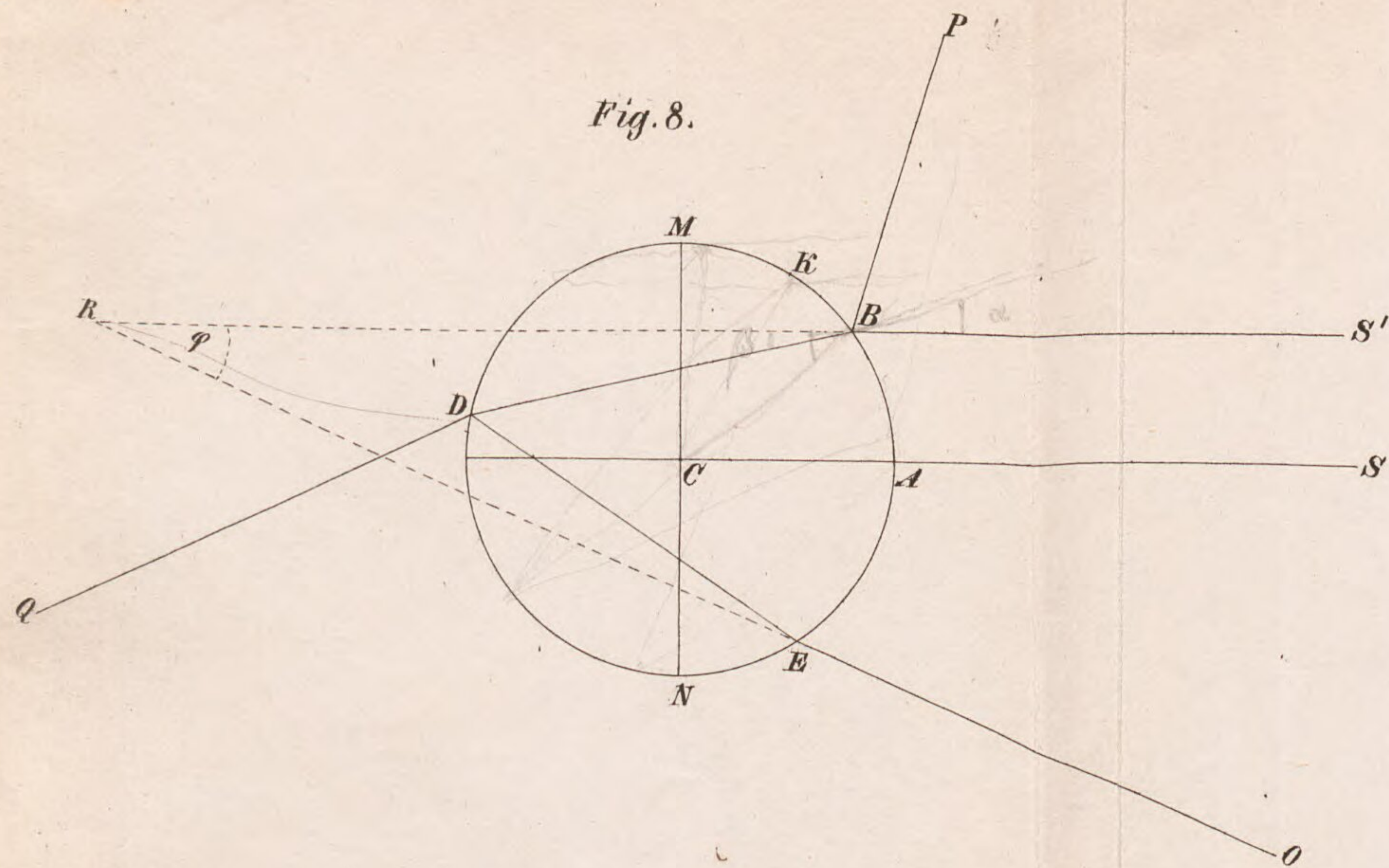


Fig. 9.

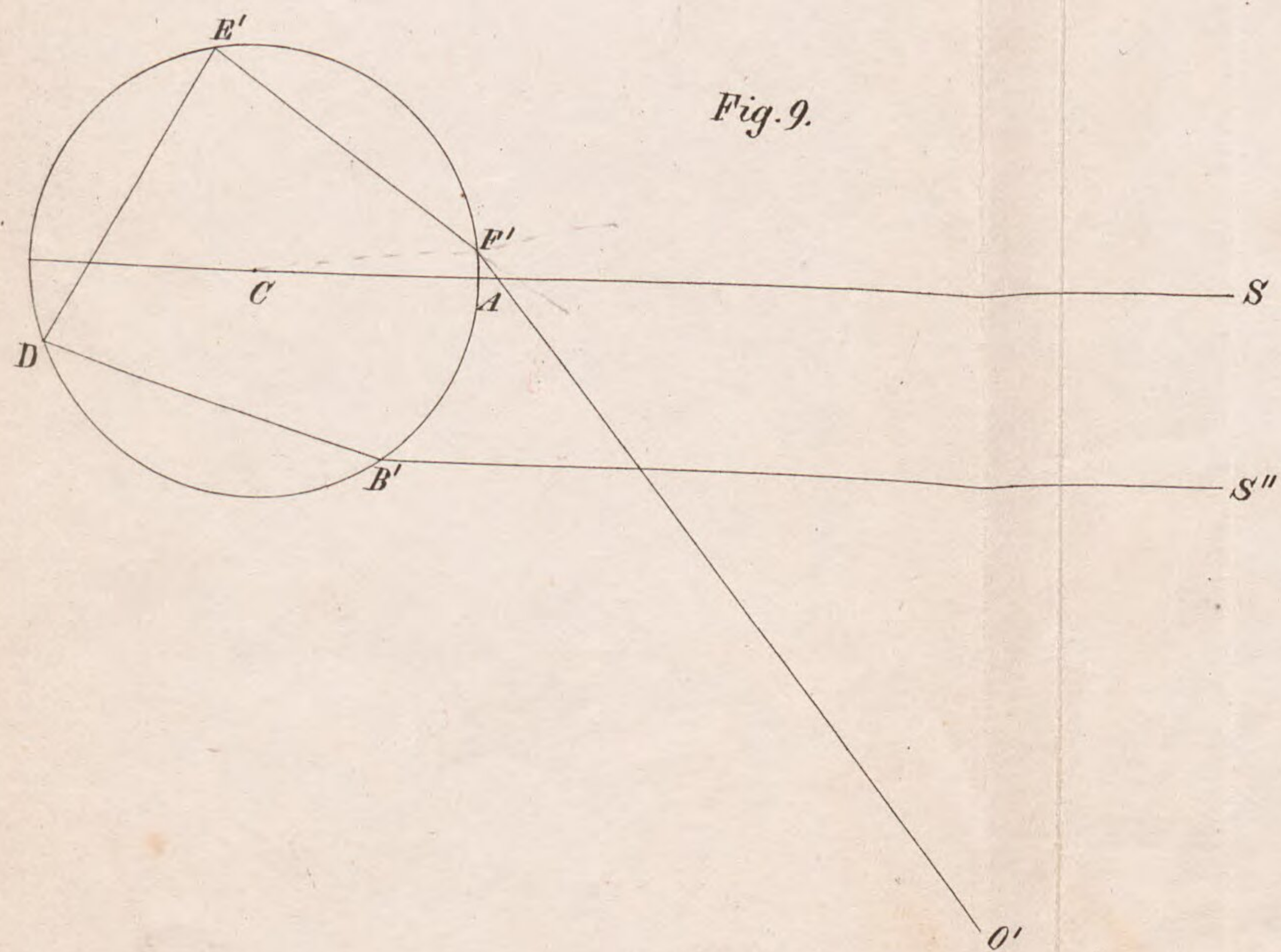


Fig. 10.

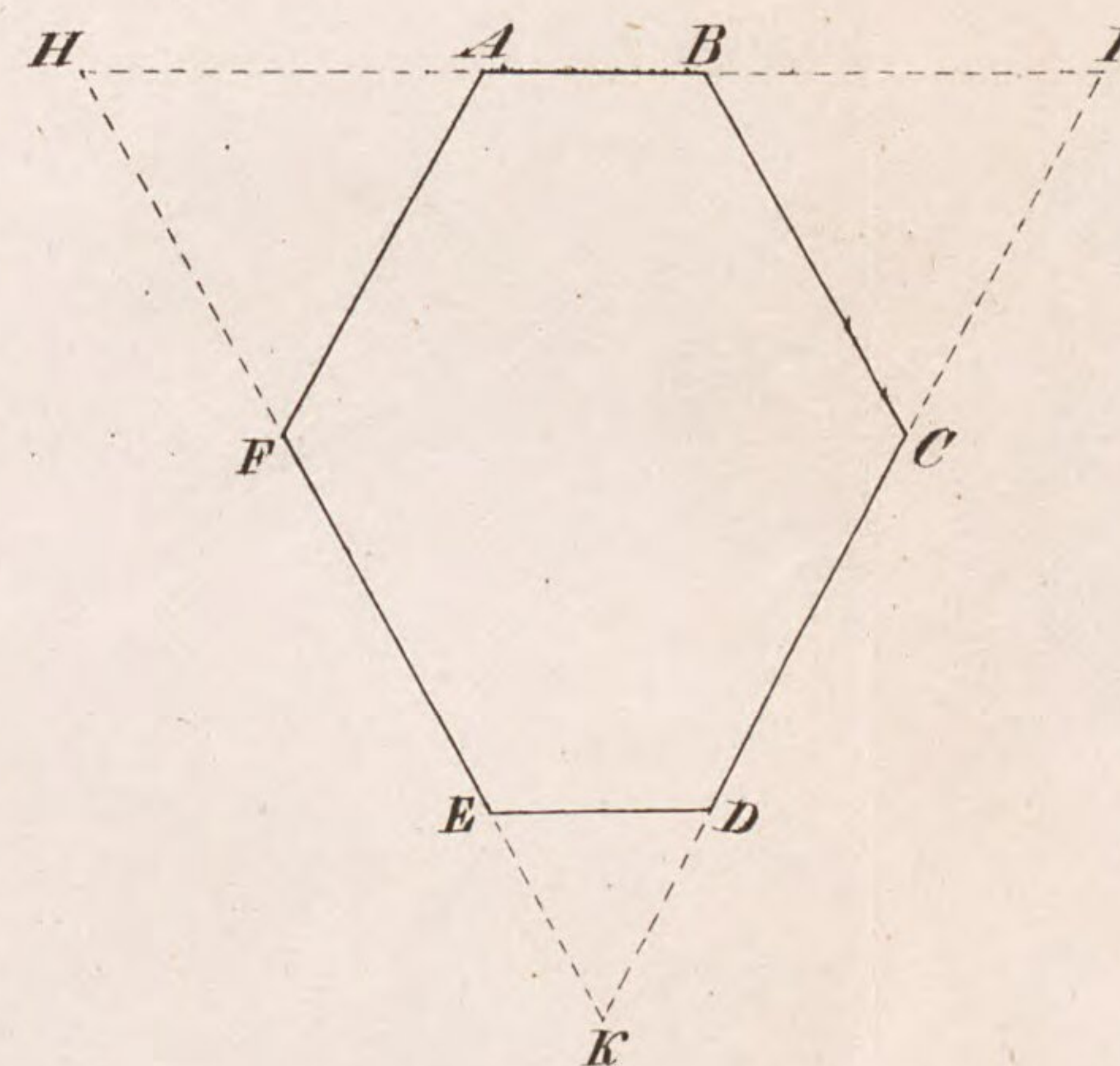


Fig. 13.

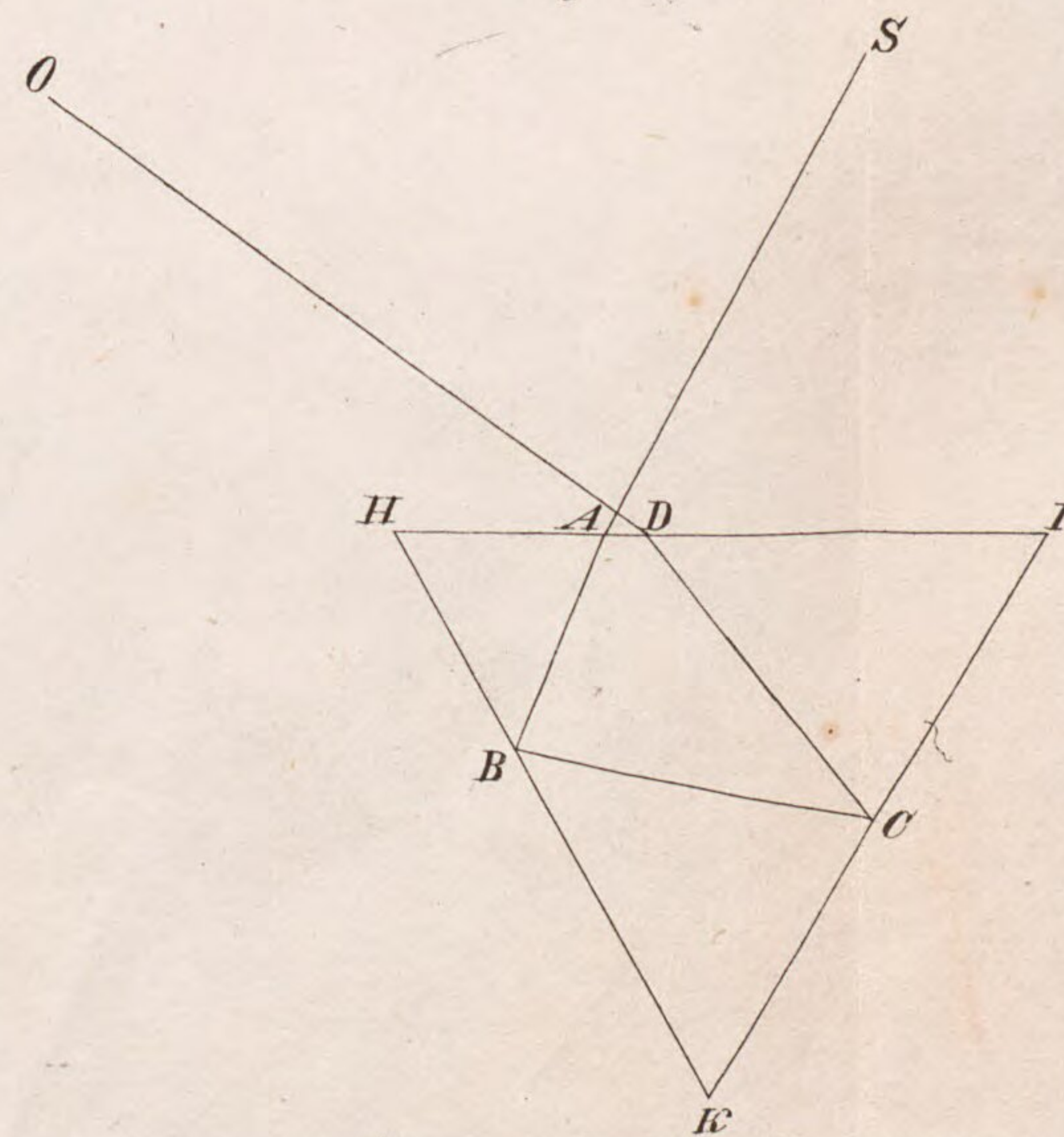


Fig. 1.

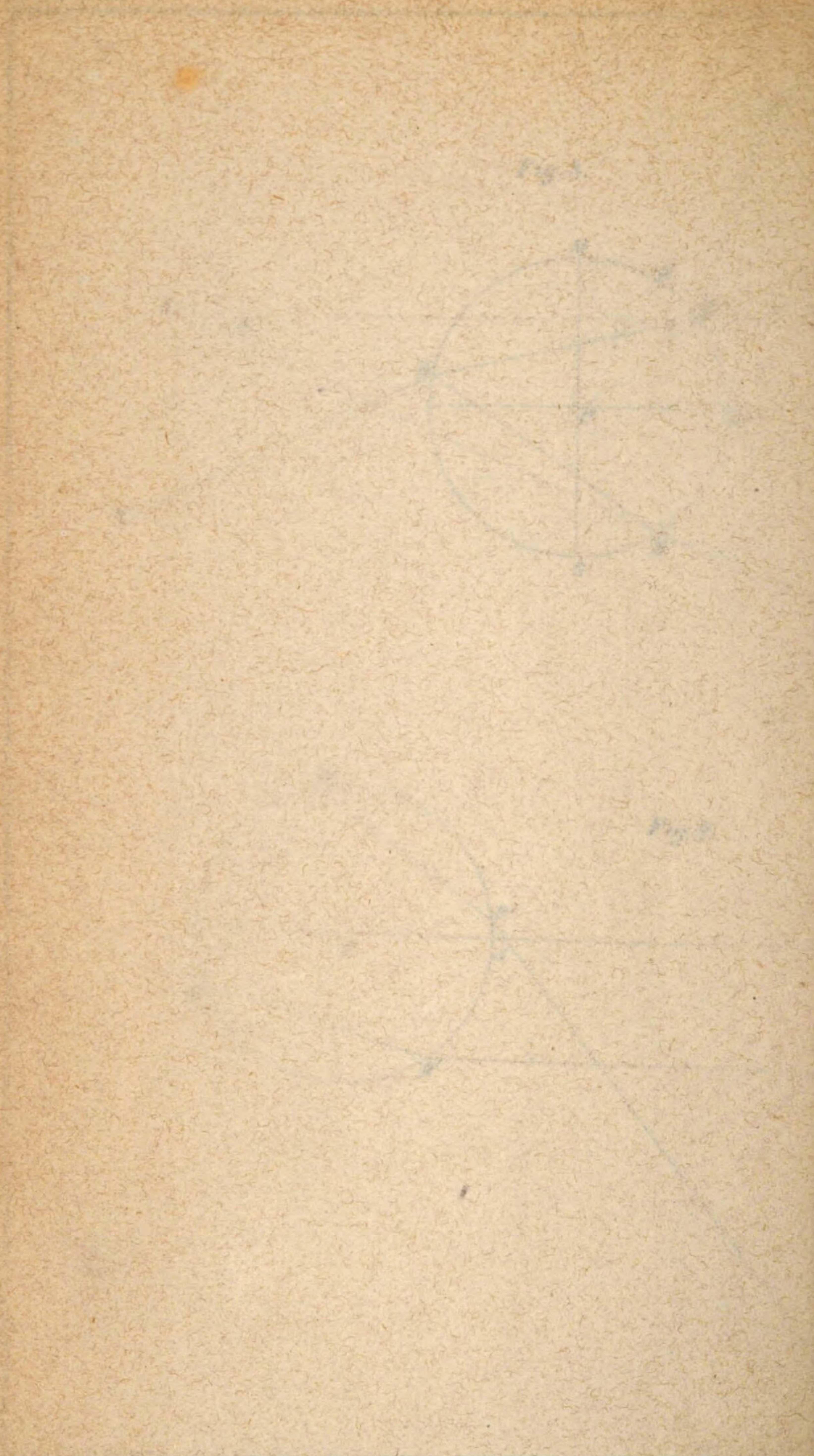


Fig. 2.



Fig. 3.



Fig. 4.

Fig. 12.

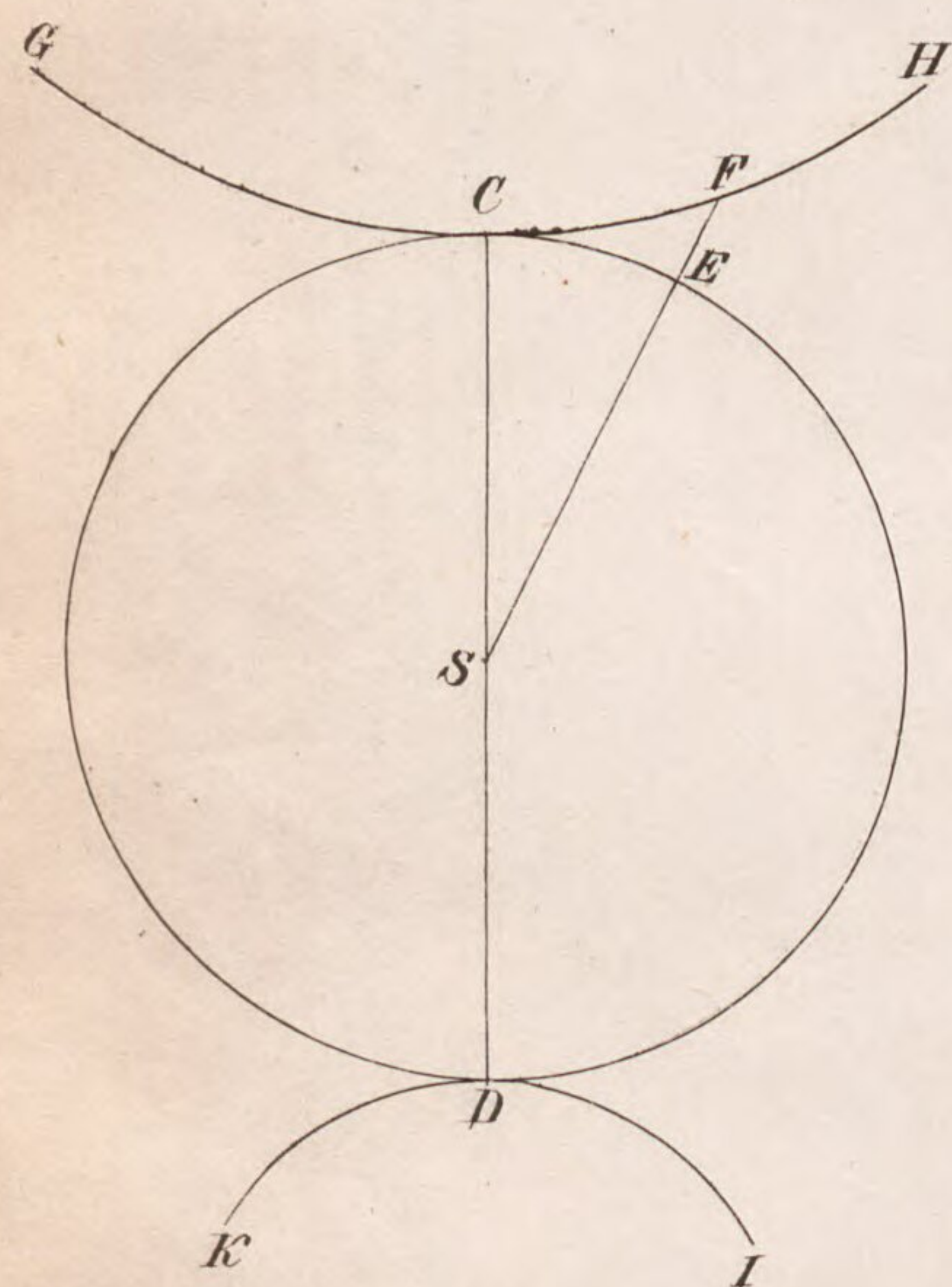


Fig. 11.

Page 1

Page 1



Page 1

Fig. 14.

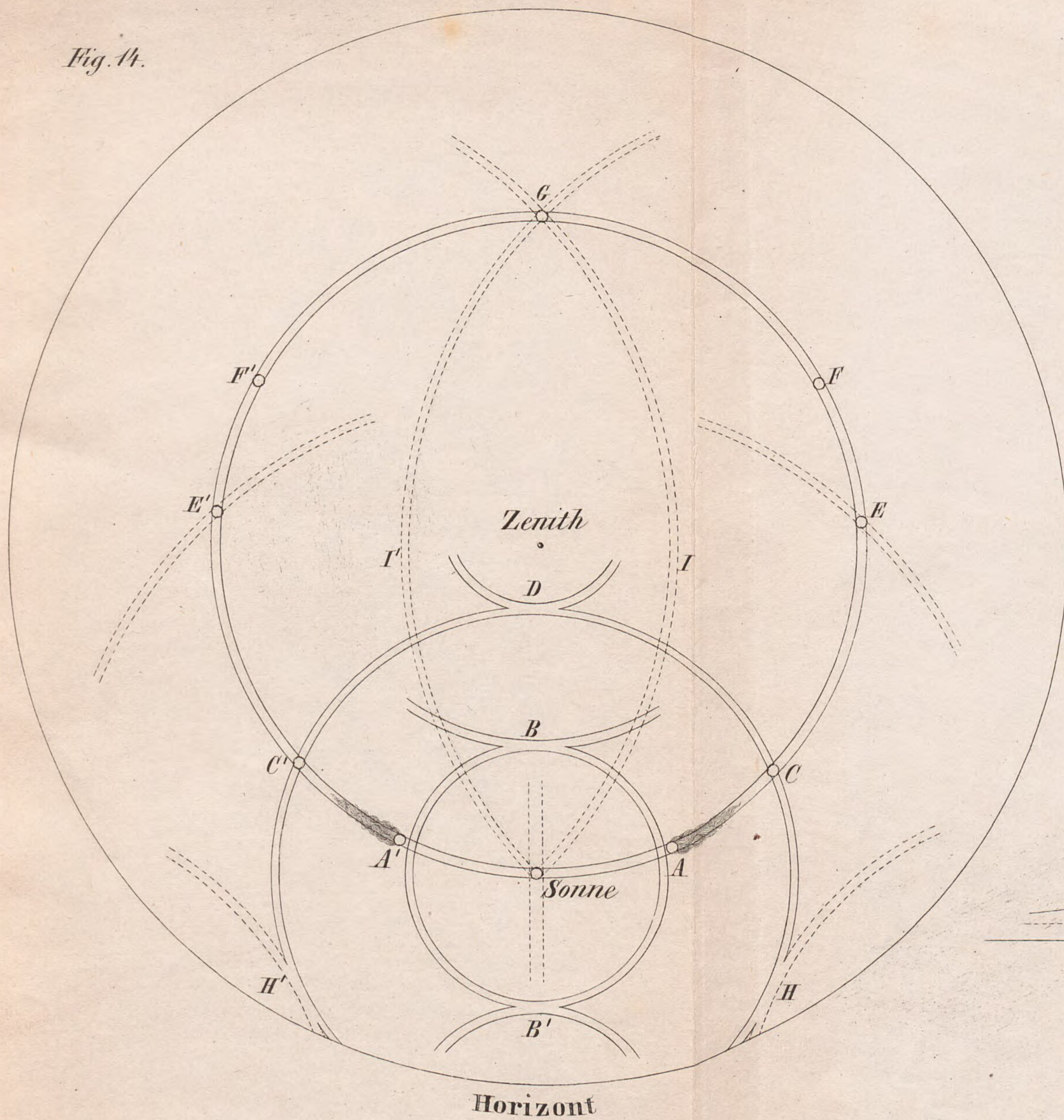
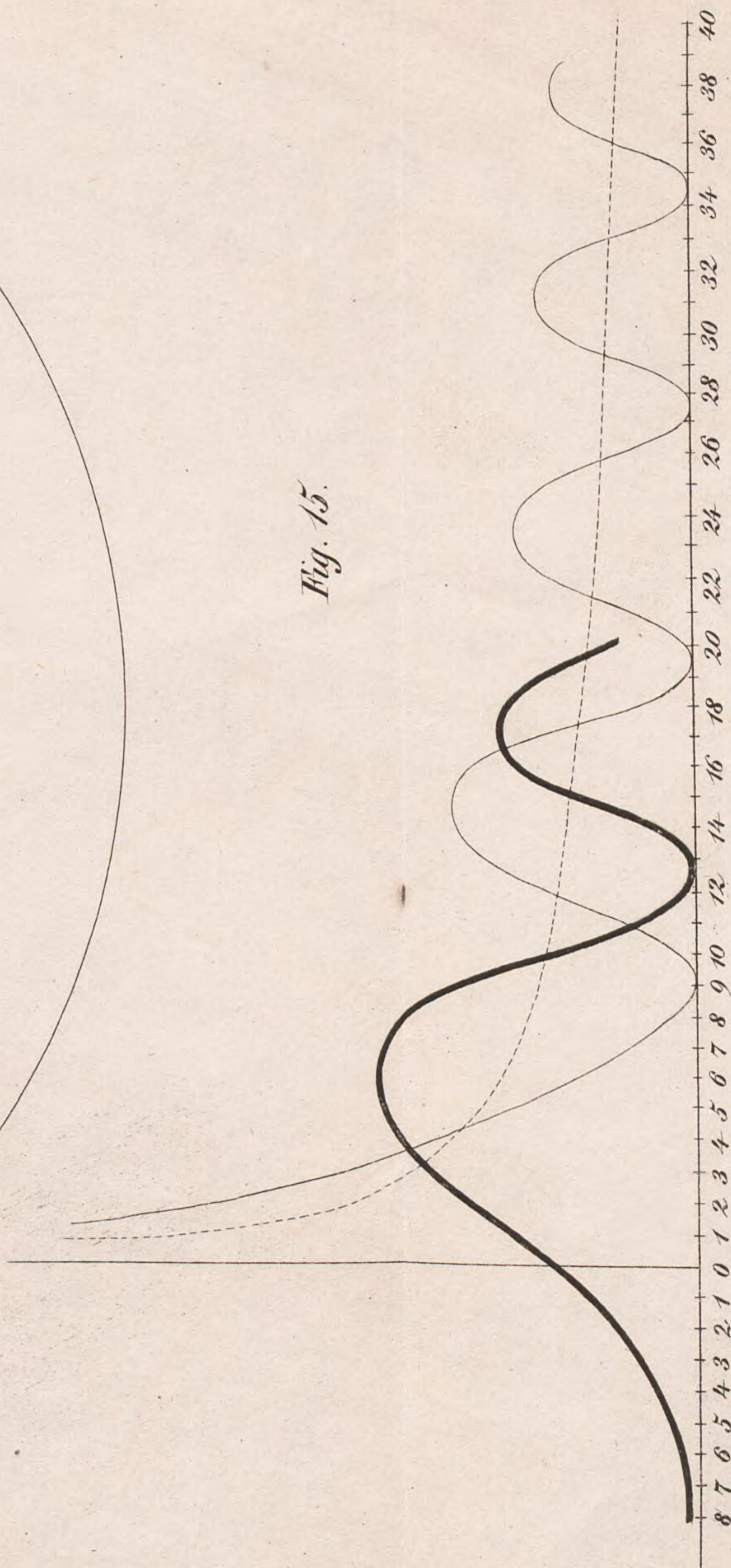


Fig. 15.



My R.

South

H'

Horizon

Grunert, Johann August,

Beiträge zur meteorologischen Optik u. zu verwandten Wissenschaften In
zwanglosen Heften

Bd.: 1,4

Lpzg 1848 - 50

Math.a. 93 qc-1,4

urn:nbn:de:bvb:12-bsb10080741-1